BMBF	CNPq
BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG	CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

WASSERVERFÜGBARKEIT SOWIE ÖKOLOGISCHE, KLIMATISCHE UND SOZIOÖKONOMISCHE WECHSELWIRKUNGEN IM SEMIARIDEN NORDOSTEN BRASILIENS

WAVES

Verbundprojekt WAVES
Statusbericht der ersten Hauptphase

Band 1: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

Beteiligte Institutionen:	Universität Hohenheim Universität Gesamthochschule Kassel Technische Universität München Hydroisotop GmbH, Schweitenkirchen Potsdam Institut für Klimafolgenforschung Fachhochschule Köln
Brasilianische Institutionen:	Universidade Federal do Ceará Universidade Federal do Piauí Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) Departamento de Hidrometeorologia (DHME), Piauí
Laufzeit des Vorhabens:	01.08.1997 - 31.07.2000
Berichtszeitraum:	01.08.1997 - 31.12.1999
Bearbeitung:	Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen aller WAVES-Fachbereiche

Stuttgart, den 1. Februar 2000
Universität Hohenheim

Inhaltsverzeichnis Band 1

1 Einleitung 1

1.1 Phänomene des Globalen Wandels 1

1.2 Globaler Wandel und semiaride Gebiete 1

1.3 Beispiel Nordostbrasilien 2

2 Problemstellung und Zieldefinition 4

2.1 Aktuelle Situation 4

2.2 Wirkungszusammenhänge und Problemfelder 5

2.3 Zielsetzung 6

3 Methodischer Ansatz des Gesamtprojektes 8

3.1 Interdisziplinarität und internationale Zusammenarbeit: 8

3.2 Räumliche Ausdehnung und Arbeitsebenen: 10

3.3 Skalen und Skalenübergänge 12

3.4 Untersuchungsgebiet, Datenerhebungen und Datengenerierung, Schnittstellen 14

3.5 Nationale und bilaterale Workshops 20

3.6 Modellierung 20

4 Systembeschreibung 22

4.1 Beschreibung des Ist-Zustandes 24

4.1.1 Klima 24

4.1.2 Wasser 32

4.1.3 Naturraum und Landnutzung 40

4.1.4 Ökonomie 46

4.1.5 Soziale Systeme 55

4.2 Schnittstellen zwischen den Subsystemen 64

5 Das integrierte Landnutzungsmodell MOSDEL (Model for Sustainable Development of Landuse) 66

5.1 Kurzcharakterisierung der Modellregion Picos 66

5.2 Stellung und Bedeutung innerhalb des Gesamtprojektes 69

5.3 MOSDEL - Idee und Ziele 70

5.4 Raum- und Zeitdimension von MOSDEL 71

5.5 Methoden 72

5.6 Dateninput 72

5.7 Datenoutput 73

5.8 Beschreibung der in MOSDEL integrierten Modelle 73

5.9 Beschreibung des Simulationsdurchlaufs 77

5.10 Modellergebnisse 77

6 Das Integrierte Regionalmodell SIM (Semiarid Integrated Model) für die Bundesstaaten von Piauí und Ceará 81

6.1 Konzepte der Integration 81

6.2 Modell, Teilkomponenten und deren Integration 84

6.3 Ergebnisse 87

7 Entwicklungsszenarien für Piauí und Ceará 92

7.1 Einleitung 92

7.2 Was sind Szenarien? 92

7.3 Entwicklung von qualitativen und quantitativen Szenarien 93

7.4 Qualitative Referenzszenarien 93

7.4.1 Referenzszenario A: Küstenboom und Cash Crops (Globalisierung) 94

7.4.2 Referenzszenario B: Integrierte ländliche Entwicklung (Dezentralisierung) 95

7.4.3 Quantifizierung der treibenden Kräfte der Referenzszenarien A und B 95

7.4.4 Bevölkerung 96

7.4.5 Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt 100

7.5 Interventionsszenarien 102

7.5.1 Verstärkte Ausdehnung der öffentlichen Wasserversorgung 102

7.6 Quantitative Indikatoren zur Beschreibung der zukünftigen Situation 103

7.7 Ausgewählte Modellergebnisse 104

7.7.1 Referenzszenarien 104

7.7.2 Interventionsszenarien 105

7.8 Schlussfolgerungen und Ausblick 106

8 Diskussion 107

8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Einzelprojekte 107

8.2 Interdisziplinäre und bilaterale Zusammenarbeit 113

8.3 Außenwirkung 116

8.4 Bewertung der Ergebnisse und identifizierte Defizite 117

8.4.1 Bewertung der Ergebnisse des Gesamtprojekts gegenüber den Projektzielen 117

8.4.2 Identifizierte Defizite 118

9 Ausblick und Planung der zweiten Hauptphase 121

10 Literatur 123

Vorbemerkung

Das Forschungsvorhaben WAVES befindet sich gegenwärtig im letzten Drittel der aktuellen Förderungsphase. Die Zusammenarbeit mit den brasilianischen Partnern konnte durch Aufenthalte deutscher Wissenschaftler in Brasilien und auch durch Besuche von brasilianischen Wissenschaftlern in Deutschland konkretisiert und ausgebaut werden. Die Aufnahmen vor Ort, die Durchführung von Feldexperimenten und die Erhebung von Sekundärdaten wurden soweit vorangetrieben, dass die gesteckten Ziele erreicht werden können. Die Durchführung zahlreicher wissenschaftlicher Workshops sowie Zusammenkünfte kleinerer Arbeitsgruppen auf nationaler und bilateraler Ebene bilden die Grundlage für die integrativen Arbeiten und ermöglichen damit die Erreichung der wissenschaftlichen Ziele.

Die einzelnen Fachbereiche setzen ihre Erfahrungen und Ergebnisse zur Zeit in Modelle und Bewertungsverfahren um, die in vorläufigen Versionen für die integrierenden Arbeitsebenen zur Verfügung gestellt werden. Damit ist ein Projektstand erreicht, der sowohl die vorläufigen Einzelergebnisse der Arbeitsgruppen zeigen kann, als auch deren Verknüpfung zur integrierten Darstellungen ermöglicht.

Der vorliegende Bericht ist in zwei Bände aufgeteilt. Band I soll im Wesentlichen den Forschungsansatz und die Struktur von WAVES sowie die interdisziplinären Ergebnisse darstellen. Die Arbeit der einzelnen Fachbereiche ist in Band II dargestellt. Die einzelnen Arbeitsgruppen haben die Darstellung ihrer Arbeiten so konzipiert, dass dem Leser bei knapp gehaltenem Umfang ein Gesamtbild des Projekts ermöglicht wird. Dies ist besonders deshalb von Bedeutung, da eine wesentliche Qualität von WAVES im Bereich der Integration liegt.

1 Einleitung

1.1 Phänomene des Globalen Wandels

Umweltprobleme haben zunehmend globalen Charakter und werden sich in der Zukunft ohne Gegenmaßnahmen weiter verstärken. Die Hauptursachen dieser *globalen Veränderungen der Umwelt* sind allgemein bekannt: Emissionen von Treibhausgasen und Schadstoffen der industrialisierten Länder, die Übernutzung oder gar Zerstörung von Wäldern und sonstiger natürlicher Vegetation und die Vernichtung des Lebensraumes für viele Tier- und Pflanzenarten (WBGU, 1993). Hinzu kommen verstärkt Umweltbelastungen, die sich aus dem weltweiten Bevölkerungswachstum und dem verstärktem Ressourcenverbrauch ergeben.
Der Zusammenhang aller Prozesse der globalen Veränderungen und deren Interaktionen wird als G*lobaler Wandel* (Global Change) bezeichnet. Der Globale Wandel setzt sich aus einer Vielzahl von Einzelphänomenen zusammen, die zum Großteil eng miteinander verwoben sind. Hierzu gehören einerseits eher in der Natur angesiedelte Ereignisse wie der durch erhöhte Treibhausgaskonzentrationen und verminderte Biomasse auf der Erde bedingte anthropogene Klimawandel, die fortschreitende Bodendegradation durch Übernutzung, die drohende und vielerorts schon eingetretene Süßwasserverknappung oder der Verlust von Biodiversität. Auf der anderen Seite stehen die verschiedenen Phänomene der Anthroposphäre: Bevölkerungswachstum, Probleme der internationalen Verschuldung, Fragen der Entwicklungsperspektiven der Länder des Südens, Technologisierung und Globalisierung der Märkte, um nur einige zu nennen.
Diese Phänomene sind vielfach wechselseitig voneinander abhängig bzw. bedingen sich gegenseitig. In seiner Gesamtheit bildet der Globale Wandel somit ein komplexes System. Wichtige Voraussetzung für die quantitative Beurteilung dieses Wandlungsprozesses ist daher nicht nur die Identifikation und Bewertung seiner Teilphänomene, sondern auch das Verständnis der Wechselwirkungen selbst.

1.2 Globaler Wandel und semiaride Gebiete

Die Auswirkungen des globalen Wandels können mit Hilfe von Modellrechnungen unter Annahme verschiedener Szenarien beschrieben und in Form von globalen Mittelwerten der daran beteiligten Komponenten dargestellt werden. Diese meist sehr allgemeinen Darstellungen verschleiern jedoch die starken Unterschiede, die regional auftreten können (Walker und Steffens, 1999). Auf dieser Ebene variieren die Auswirkungen des globalen Wandels aufgrund der geographischen Lage, der natürlichen klimatischen Variabilität, der jeweiligen physikalischen und biologischen Potentiale der natürlichen Ressourcen sowie der unterschiedlich starken Einflussnahme des Menschen erheblich.
Zu einer groben Beurteilung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Weltregionen kann die jüngste Studie des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) herangezogen werden (IPCC, 1998). Diese Studie gibt einen Überblick über das Gefährdungspotential für die verschiedenen Ökosysteme, den sozioökonomischen Sektor und den sozialen Bereich in den einzelnen Großregionen. Dabei fällt sowohl zwischen als auch innerhalb der Großregionen ein starkes Gefälle auf. Während einige Gebiete innerhalb der Großregionen von den veränderten Rahmenbedingungen weniger stark betroffen sind oder sogar von einzelnen Entwicklungen profitieren können, werden andere Regionen durch den globalen Wandel sehr stark beeinträchtigt. Dabei spielen die Veränderungen der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre, insbesondere der Anstieg der Treibhausgase in der Erdatmosphäre, eine bedeu-

tende Rolle. Hierdurch wird es sowohl global als auch regional zu Veränderungen der Klimafaktoren kommen. In diesem Zusammenhang wird befürchtet, dass sich extremere Temperaturereignisse häufen, die Bodenwasserhaushalte deutlich verändern, die Häufigkeit von Fluten und Dürren erhöht und deren Intensitäten deutlich zunehmen werden. Ähnliche Befürchtungen werden auch von anderen Autoren geäussert (Gregory et al., 1999; Mahlman, 1997; Walker und Steffen, 1997).

Der globale Wandel wird den bereits heute in einigen Gebieten bestehenden periodischen und chronischen Wassermangel erhöhen. Dadurch werden sich die Umwelt und die Lebensbedingungen in Teilen der Welt nachhaltig verändern. Besonders schwerwiegend werden die Folgen dieser Entwicklung für Gebiete sein, die aufgrund ihrer geographischen Lage bereits zum heutigen Zeitpunkt nur sehr geringe absolute Niederschläge erhalten oder aber eine ungünstige Niederschlagsverteilung aufweisen und nur begrenzt über technische, ökonomische und kulturelle Möglichkeiten zur Problemlösung verfügen. Weite Teile der Tropen und Subtropen, insbesondere die semiariden Gebiete und deren angrenzende Naturräume, können in die Kategorie der besonders benachteiligten Naturräumen mit geringem, gesellschaftlichen Problemlösungspotential eingestuft werden. In einigen dieser Gebiete werden bereits heute die Grenzen der natürlichen und sozialen Belastbarkeit deutlich überschritten, so dass eine Verschlechterung des aktuellen Zustandes zwangsläufig gravierende Folgen für die Umwelt und die dort lebende Bevölkerung haben wird. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt leiden ungefähr 19 Länder erheblich unter Wasserknappheit, so dass sie als wasserarm oder als unter Wasserstress leidend eingestuft werden. Vorsichtige Schätzungen des IPCC (1997) gehen davon aus, dass sich deren Zahl bis zum Jahr 2025 nahezu verdoppeln wird. Gleichzeitig hängt die Ökonomie dieser Länder stark von der Landwirtschaft ab und erfolgt die Wasserversorgung meist über einfache Systeme, die kaum Möglichkeiten aufweisen, auf eine Verschlechterung der Wasserverfügbarkeit zu reagieren. Ferner verfügen diese Länder nur über geringe volkswirtschaftliche Möglichkeiten, um die Wasserversorgung mit anderen Mitteln effizienter zu gestalten.

Die direkten und indirekten Folgen des globalen Wandels bedrohen die gesamte Menschheit. Im Gegensatz zu anderen Spezies verfügt der Mensch über die Fähigkeit, künftige Entwicklungen zu planen. Er ist in der Lage, Vermeidungs- und Anpassungsstrategien zu entwickeln und in neue Technologien zu investieren (Peterson et al., 1997; WBGU, 1997). Auch auf diesem Gebiet zeigt sich, ähnlich wie bei den regionalen Auswirkungen des globalen Wandels, eine ungleichmäßige Verteilung der Anpassungsfähigkeit, des Potentials zur Konfliktbewältigung und den Möglichkeiten, auf veränderte Rahmenbedingungen zu reagieren. Wohlstand, Infrastruktur und politische Stabilität tragen dazu bei, dass sich eine Nation an veränderte Rahmenbedingungen anpassen kann und sind eine wesentliche Voraussetzung für eine adäquate Problemlösung. Geringer Bildungsstand, mangelnde physische Infrastruktur, degradierte natürliche Ressourcen und fehlende Kontrolle erhöhen die Vulnerabilität einer Gesellschaft gegenüber den Auswirkungen des globalen Wandels beträchtlich.

1.3 Beispiel Nordostbrasilien

Der Nordosten Brasiliens ist ein typisches Beispiel für eine gefährdete Region, auf welche viele der oben skizzierten Bedingungen zutreffen. Bevölkerungswachstum, Veränderungen der Umwelt durch die Landnutzung und andere menschliche Aktivitäten bedrohen dort langfristig den Fortbestand der natürlichen Ressourcen (Magalhães et al., 1988). Zusätzlich beeinträchtigt in Nordostbrasilien die natürliche Klimavariabilität das soziale und ökonomische Wohlbefinden der Mehrheit der dort lebenden Bevölkerung. Diese Variabilität führt häufig zu mehr oder weniger stark ausgeprägten Dürren, die in extremen Jahren verheerende Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion und die Wasserversorgung haben und Hungersnöte, wie z. B. im Jahr 1983, hervorrufen können.

Die Folgen der Dürren können zum Teil durch Notprogramme gemildert werden. Außerdem ist Brasilien in der Lage, über Investitionsprogramme und andere ökonomische Steuerungsmaßnahmen einen aktiven Beitrag zur Problemlösung zu leisten. Allerdings bedarf es im Zusammenhang mit den zukünftigen Herausforderungen einer Anpassung der bestehenden Instrumentarien und der Entwicklung neuer Strategien, um die Lebensgrundlage in Nordostbrasilien nachhaltig zu sichern. Die Voraussetzungen hierfür sind beachtlich, da in Brasilien eine gute wissenschaftliche Infrastruktur existiert und langfristige Daten zur Entwicklung neuer und Verbesserung bestehender Strategien zur Verfügung stehen.

2 Problemstellung und Zieldefinition

2.1 Aktuelle Situation

Klima, Relief, Ausgangsgestein und Bodenbildung haben im Nordosten Brasiliens bei jährlichen Niederschläge zwischen 300 und 1.500 mm zur Ausbildung der für diese Region typischen Vegetationsformen *Caatinga* und *Cerrado* geführt (Seibert, 1996). Beide Vegetationsformen weisen selbst in den Gebieten mit höheren Niederschlägen xeromorphe Merkmale auf. Dies ist ein deutlicher Hinweis, dass in dieser Region zumindest zeitweilig Wasserknappheit besteht. Diese wird in den meisten Fällen durch eine ungünstige Niederschlagsverteilung, eine geringe Wasserspeicherfähigkeit der Böden und hohe Verdunstungswerte infolge der intensiven Sonneneinstrahlung hervorgerufen. Selbst in vermeintlich guten Regenjahren können 90 % der Niederschläge binnen kurzer Zeit in Form von heftigen Schauern fallen, während in schlechten Jahren die Niederschläge sogar völlig ausfallen können (Hall, 1976).
Das Kerngebiet des Nordostens ist von der Trockenheit am stärksten betroffen. Häufig wiederkehrende Dürren, die in engem Zusammenhang mit dem ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*) Phänomen stehen können, sind das zentrale Problem und bedrohen häufig die Lebensgrundlage der in dieser Region lebenden Menschen. Aufgrund der Häufigkeit mit der diese Dürren eintreten wird das Gebiet auch als das Polygon der Trockenheit bezeichnet. Es erstreckt sich über die Bundesstaaten Bahia, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará und Piauí und bedeckt mit 950.000 km² rund 60 % der Fläche Nordostbrasiliens.
Die jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit von Dürren ist regional sehr unterschiedlich und schwankt zwischen 20 und 90 %. Für weite Teile der Bundesstaaten Piauí und Ceará liegt sie bei 40 bis 80 %.

Gleichzeitig weist die Mehrzahl der in der Region vorkommenden Bodentypen eine sehr geringe Bodenfruchtbarkeit auf. Zum großen Teil sind die Böden tiefgründig verwittert, haben aufgrund der ungünstigen Textur nur geringe Möglichkeiten, Nährstoffe und Wasser über einen längeren Zeitraum zu speichern. Darüber hinaus sind Bodenversalzung und Bodenversauerung wesentliche limitierende Faktoren einer landwirtschaftlichen Nutzung. Durch unsachgemäße Landbewirtschaftung können diese Prozesse noch verstärkt werden.

Der Nordosten Brasiliens gilt als das eigentliche Problemgebiet Brasiliens und wird häufig als das Armenhaus Brasiliens bezeichnet. Die Mehrzahl der Bevölkerung lebt unter äußerst schwierigen Bedingungen (Briesemeister, 1994). Das monatliche Durchschnittseinkommen betrug 1996 im Nordosten etwa 215 US$ und liegt damit rund 48 % unter dem Landesdurchschnitt. Die Landwirtschaft ist im Nordosten für rund 41 % der Erwerbstätigen die wesentliche Einkommensquelle, während diese Zahl im Landesdurchschnitt nur bei knapp 25 % liegt. Auch der Bildungsstand ist in Nordostbrasilien schlechter als im Landesdurchschnitt. Knapp 53 % der Arbeitskräfte in Nordostbrasilien haben weniger als drei Jahre eine Schule besucht, während dieser Anteil landesweit nur rund 31 % beträgt (IBGE, 1996d). Etwa 80 % der Erwerbstätigen im ländlichen Raum sind darüber hinaus periodisch unterbeschäftigt und direkt von Armut betroffen (Magalhães et al., 1988). Zum Teil handelt es sich bei den in der Landwirtschaft tätigen Personen um Kleinbauern, die mit den produzierten Nahrungsmitteln die Subsistenz ihrer Familie sichern und lediglich die Überschüsse zur Einkommenserzielung verwenden können, oder um Pächter von Kleinflächen, die in ähnlicher Weise am Markt agieren. Diese bewirtschaften in der Regel nur kleine Fläche bis maximal 10 ha und machen etwa 53 % der landwirtschaftlichen Betriebe aus, bewirtschaften aber nur knapp 3 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Dennoch ist ihre Bedeutung sehr hoch, da sie hauptsächlich zur regionalen Versorgung mit Grundnahrungsmitteln beitragen. Auf diese Art der Nahrungsmittelproduktion wirken sich Dürren in zwei-

facher Weise ungünstig aus. Zum einen sinken die Erträge direkt, zum anderen erhöht sich der Produktionsanteil der zur Subsistenzsicherung zurückgehalten wird, wodurch die Preise steigen und das Kaufen von Nahrungsmitteln für die ärmeren Bevölkerungsschichten zusätzlich erschwert wird. Darüber hinaus gibt es noch die Gruppe der Saisonarbeitskräfte, die ihre Arbeitskraft auf größeren Betrieben verdingen und damit ihren Lebensunterhalt als Tagelöhner sichern.

Außerlandwirtschaftliche Erwerbsquellen stehen in Nordostbrasilien nur begrenzt zur Verfügung. Eine industrielle Entwicklung findet hier entlang des schmalen Küstenstreifens statt und konzentriert sich größtenteils auf die urbanen Zentren. Dort spielt auch der Dienstleistungssektor durch den gestiegenen Tourismus eine wichtige Rolle. Im Landesinneren gibt es jedoch kaum industrielle Ansiedlungen. Von dieser Entwicklung ist Piauí ausgenommen, da es zum einen nur einen sehr schmalen Küstenstreifen hat und zum anderen erst Mitte des vorherigen Jahrhunderts intensiver besiedelt wurde.

Trotz erheblicher Transferzahlungen und Investitionen der besser entwickelten Bundesstaaten wird das Gefälle zwischen dem Nordosten und dem Südosten des Landes immer größer. Neben den naturräumlichen Verhältnissen sind es auch die zum Teil noch aus der Kolonialzeit stammenden sozioökonomischen Strukturen im Agrarbereich, die ein Hemmschuh für moderne Entwicklungen im Nordosten sind (Brühl, 1985; Stecher, 1998). Die fehlenden Perspektiven im ländlichen Raum fördern die Landflucht und lösen Migrationsbewegungen in andere Teilregionen Brasiliens mit stark negativen Folgen für Gesellschaft und Natur aus.

In den letzten drei Jahrzehnten ist die Verstädterung in Gesamtbrasilien von knapp 44 % auf rund 78 % gestiegen, wobei der Anteil der städtischen Bevölkerung im Südosten im Vergleich zum Nordosten stärker anstieg. Gleichzeitig nahm auch die absolute Bevölkerungszahl in dieser Region zu. Rund elf Millionen Menschen gaben beim Zensus von 1996 an, dass sie fünf Jahre zuvor in einer anderen Region gewohnt haben. Gut ein Viertel dieser Menschen gab an, aus dem Nordosten Brasiliens zu stammen (IBGE, 1997b). Trotz Abwanderung nimmt die Bevölkerung auch in Nordostbrasilien weiter zu. Die jährliche migrationsbereinigte Wachstumsrate liegt im Nordosten bei ca. 1 % und liegt damit deutlich unter dem Landesdurchschnitt. Weitere Informationen zur aktuellen Situation befinden sich im Kapitel 4 Systemanalyse dieses Bandes sowie der Statusberichte der einzelnen Arbeitsgruppen im Band 2.

2.2 Wirkungszusammenhänge und Problemfelder

Eine Untersuchung der Auswirkungen globaler Veränderungen für eine spezifische Region der Erde erfordert zuerst eine klare, an den drängenden Problemen der Region ausgerichtete, Definition der grundlegenden Fragestellung. Davon können die internen (in Wechselwirkung befindlichen) Prozesse des betrachteten Systems und deren Dynamik identifiziert werden. Zudem werden die maßgebenden externen Einflüsse (Randbedingungen), die selbst keinen bedeutenden Einflüssen des Systems unterliegen, festgelegt.

Wie bereits erwähnt, wird im semi-ariden Nordosten Brasiliens die Lebensqualität der Bevölkerung neben den ökonomischen Bedingungen auch in starkem Ausmaß von den naturräumlichen Gegebenheiten beeinflusst. Vor allem die ländliche Bevölkerung leidet immer wieder direkt oder indirekt unter zeitweise/örtlich auftretenden ungünstigen Bedingungen, insbesondere Dürren. Das hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass ein bedeutender Teil der Bevölkerung ihre Heimat im Nordosten Brasiliens verließ und in die städtischen Zentren im Süden der Republik oder nach Amazonien emigrierte (Magalhaes et al, 1988).

Unter der Annahme, dass die Vorgänge des globalen Wandels diese kritische Situation noch erheblich beeinflussen können, wurde daher die Wechselwirkung zwischen Wasserverfügbarkeit, Lebensqualität der ländlichen Bevölkerung und deren Migration als übergreifende Leitthematik identifiziert. Diese Fragestellung spannt den Bogen von den wesentlichen naturräumli-

chen Limitierungsfaktoren der Region (zeitlich und räumlich sehr variable Niederschlagsmengen; variabler Beginn und Dauer der Regenzeit und damit des Aussaatzeitpunktes und der möglichen Produktionsperiode; unzureichende technische und administrative Wasserspeicherung und -verteilung; Marginalität der Bodenfruchtbarkeit hinsichtlich Wasserspeicherung und Nährstoffen) bis zur Problematik der Wanderungsbewegungen aufgrund ungesicherter bzw. oftmals kaum erträglicher Lebensumstände (geringes Arbeitsangebot insbesondere in der Trockenzeit; sehr geringes Einkommen der Landbevölkerung; ungünstige Landbesitzverhältnisse; z.T. akuter Mangel an Nahrung und Trinkwasser; mäßige infrastrukturelle und gesundheitliche Versorgung). Sie ist der Ausgangspunkt für eine zielgerichtete, differenzierende Auswahl der wesentlichen am Wirkungssystem beteiligten Prozesse der internen Systemdynamik und der als Randbedingungen wirkenden externen Kräfte. Es wird klar, dass nur ein ausgesprochen interdisziplinäres Vorgehen dieser Problematik gerecht werden kann.
In Abbildung 1 sind die wesentlichen internen Systemprozesse, die externen Kräfte sowie die Wechselwirkungen skizziert. Diese Abbildung stellt ein mittleres Differenzierungsniveau dar, d.h. die Prozesse sind im Einzelnen identifiziert, eine weitere Detaillierung mit dem Ziel der mathematischen Modellierung ist aber noch nicht gegeben.

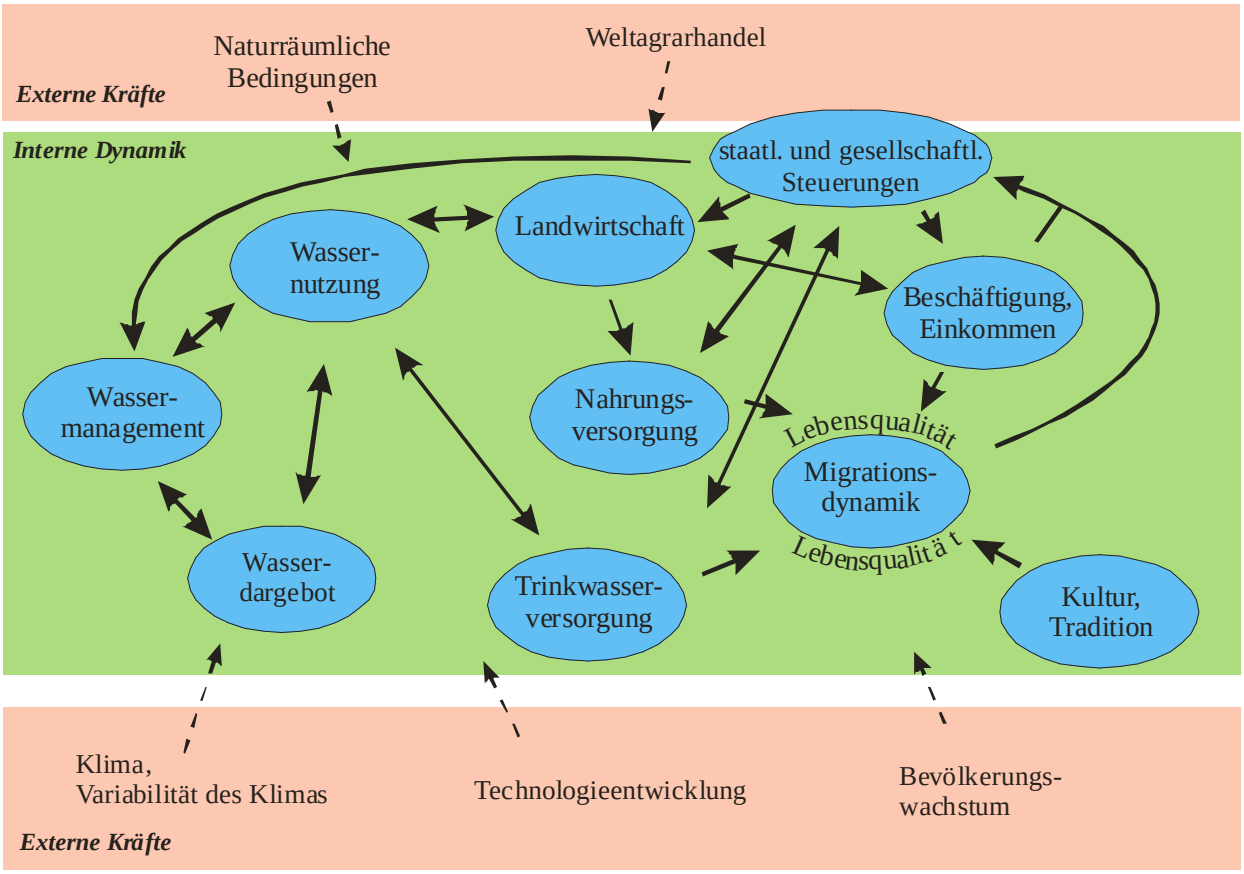


Abb. 1: Wirkungsgeflecht der internen Systemprozesse und externe Kräfte im WAVES-Projekt (mittleres Differenzierungsniveau)

2.3 Zielsetzung

Für den von extremen Randbedingungen geprägten Lebensraum für die ländliche Bevölkerung im Nordosten sollen nachhaltige Entwicklungsstrategien erarbeitet werden, die auch den Aspekten des Globalen Wandels Rechnung tragen.
Die wissenschaftliche Grundlage bildet dafür eine umfangreiche Systemanalyse zur Bestimmung wesentlicher Wirkungszusammenhänge des Mensch-Umwelt-Systems. Dies erfordert einen interdisziplinären Forschungsansatz, mit dem die Interaktionen zwischen Wasserverfüg-

barkeit, natürlichen Ressourcen und anthropogenen Aktivitäten erfasst werden. Ziel ist die quantitative Beschreibung und Simulation möglicher Entwicklungen des natürlichen und sozioökonomischen Systems infolge sich verändernder Wasserverfügbarkeit. Auf wissenschaftlicher Basis sind Instrumente zur Planung und Entscheidungsfindung zu entwickeln.
Die Forschungsergebnisse einzelner Arbeitsgruppen werden dafür durch geeignete Integrationsverfahren zusammengeführt, um so eine Operationalisierung der Ziele zu erreichen. Eingesetzte Methoden sind hierfür die integrierte Modellierung und der Einsatz eines Geographischen Informationssystems, mit dem die räumliche Integration erfolgt. Zur Verbindung der und Wissenstransfer zwischen den bearbeitenden räumlichen und zeitlichen Ebenen werden Skalierungsverfahren eingesetzt.

3 Methodischer Ansatz des Gesamtprojektes

Der methodische Ansatz des Gesamtprojektes muss den gesteckten Zielen Rechnung tragen. Folgende Rahmenbedingungen sind vorgegeben:

3.1 Interdisziplinarität und internationale Zusammenarbeit:

Das WAVES-Projekt ist ein gemeinsamer Beitrag Brasiliens und Deutschlands zum Global Change Forschungsprogramm. Ein gemeinsames brasilianisch-deutsches Steering Comittee überwacht die wissenschaftliche Arbeit bezüglich Zielstellung und Methodik und gibt die Richtung der wissenschaftlichen Weiterentwicklung vor. Das Steering Comittee besteht aus jeweils zwei Regierungsvertretern und zwei unabhängigen Wissenschaftler jedes Landes.
Sowohl eine brasilianische als auch eine deutsche Managementgruppe verfolgt und kontrolliert die aktuellen Arbeiten auf beiden Seiten. Diese Gruppen treffen Entscheidungen im Rahmen des Gesamtrahmens des Projektes. Sie bestehen aus leitenden Wissenschaftlern des Projektes und umfassen alle beteiligten Disziplinen.
Momentan arbeiten etwa 70 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen im WAVES-Projekt, wobei jeweils etwa die Hälfte aus brasilianischen und deutschen Forschungsmitteln finanziert werden. Die momentan am Projekt teilnehmenden Institutionen sind folgende:

Brasilien:
- Departamento de Hidrometorologia (Secretaria da Agricultura, Abastecimento e Irrigação, PiauÍ SEEAB, DHME)
- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME)
- Universidade Federal do Ceará (Dept. de Fitotecnica, Dept. de Economia Agrícola, Dept. de Ciências Computacionais, Dept. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Dept. de Geografia, Dept. de Biologia)
- Universidade Federal do Piauí (Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste, TROPEN)

Deutschland:
- Fachhochschule Köln (Institut für Tropentechnologie)
- Universität Gesamthochschule Kassel (Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung und Fachbereich 3, Psychologie)
- HYDROISOTOP GmbH, Schweitenkirchen
- Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (Abteilungen Klima, Globaler Wandel und Natürliche Systeme)
- Technische Universität München-Weihenstephan (Lehrstuhl für Landschaftsökologie)
- Universität Hohenheim (Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre, Institut für Pflanzenbau und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen, Institut für Pflanzenernährung)

Um dem Projektziel gerecht zu werden, müssen die natürlichen Rahmenbedingungen im Wirkungszusammenhang mit den anthropogenen Aktivitäten betrachtet werden. Dafür ist eine Interdisziplinäre Zusammenarbeit erforderlich. Die einzelnen Arbeitsgruppen setzen die Ergebnisse ihrer Arbeiten in Modelle um. In dieser Form gehen sie dann in die Integrationsebenen ein.

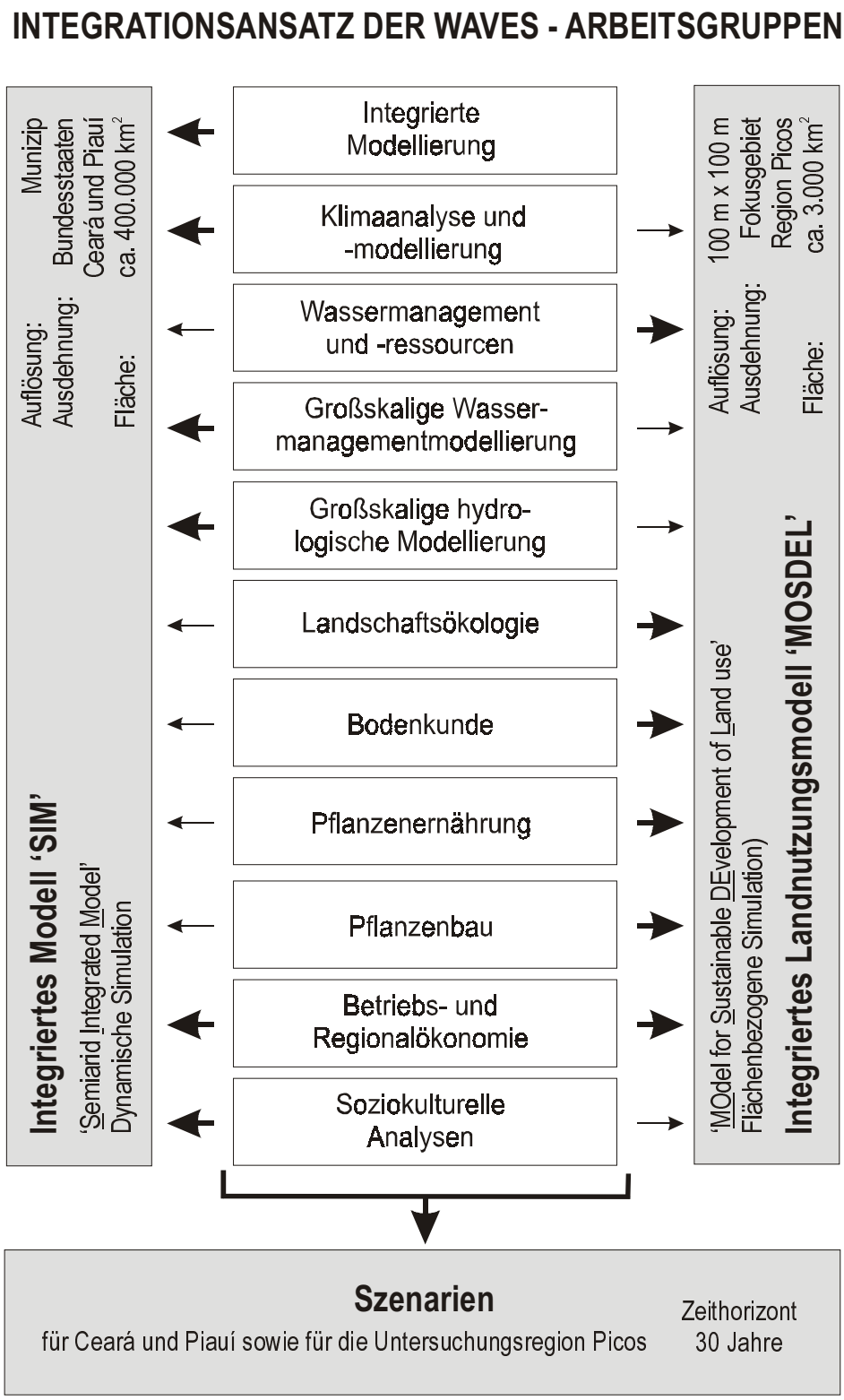


Abb. 3.1: Ziele, Forschungsansatz und Skalen der Arbeitsgruppen

WAVES setzt sich auf der deutschen Seite aus elf Arbeitsgruppen zusammen, die mit ihrer jeweiligen Schwerpunktintegrationsebene in der Abbildung 3.1 dargestellt sind. Die Konstruktion ist in Brasilien weitgehend spiegelbildlich aufgebaut. Das bedeutet, dass die deutschen Arbeitsgruppen jeweils ein Pendant auf brasilianischer Seite haben, mit denen abgestimmt die Bearbeitung in Abstimmung erfolgt. Damit ist gewährleistet, dass die Arbeiten die brasilianische Realität mit einbeziehen.

Die Arbeitsgruppen formieren sich zu den Fachbereichen *Klimaanalyse und -modellierung, Wasser, Agrarökosysteme, Sozioökonomische und -kulturelle Analysen, Landschaftsökologie* sowie *Integrierte Modellierung*. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen und Felderhebungen der beteiligten brasilianischen und deutschen Arbeitsgruppen werden in den Fachbereichen ausgetauscht, analysiert und zu einem Gesamtbild des jeweiligen Schwerpunktes zusammengefügt. Durch das Zusammenwirken unterschiedlicher Disziplinen kommt es bereits auf dieser Ebene zu wertvollen Synergieeffekten. Darüber hinaus finden sich Arbeitsgruppen fachbereichsübergreifend zusammen, um bestimmte Fragestellung, die sich aus den Schnittstellen der Fachbereiche ergeben, gemeinsam zu bearbeiten und zu beantworten (s.a. Tabelle 3.3). Auf der dritten Ebene, der Integrierten Modellierung, kommen alle Arbeitsgruppen zusammen, so dass auf dieser Ebene sowohl die Systemanalysen der Fachbereiche als auch die Einzelergebnisse der Arbeitsgruppen und deren Expertise zur Verfügung steht.
Die interdisziplinäre und internationale Ausrichtung von WAVES geht auch über die direkt am Projekt beteiligten Institutionen hinaus. Deshalb arbeitet das Projekt auf verschiedene Weise an internationalen Forschungsprogrammen mit bzw. liefert hierfür einen Beitrag. Zu nennen sind hier insbesondere das Internationale Hydrologische Programm (IHP) der UNESCO, und das Internationale Geosphären-Biosphären Programme (IGBP) der UN (siehe Kapitel 8.3).

3.2 Räumliche Ausdehnung und Arbeitsebenen:

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über die beiden brasilianischen Bundesstaaten Piauí und Ceará. Das Gebiet ist **(**mit ca. 400.000 km²) etwas größer als Deutschland. Piauí und Ceará stehen dabei modellhaft für das Trockenpolygon im Nordosten Brasiliens. Ein Raum dieser Größenordnung kann jedoch nicht von jeder Disziplin sowohl detailliert als auch umfassend untersucht werden. Daher erfolgt die Bearbeitung auf verschiedenen Maßstabsebenen und damit auch auf verschiedenen Abstraktionsebenen. Eingeführt wurden im wesentlichen drei Ebenen, die Makroebene oder Bundesstaatenebene, die Mesoebene bzw. regionale Ebene und die Mikroebene oder Felduntersuchungsebene (siehe Abschnitt 3.3).
Die einzelnen Arbeitsgruppen arbeiten in WAVES in der Regel bevorzugt auf einer disziplinär typischen räumlichen Ebene. So ist z.B. die räumliche Arbeitsebene der Klimaarbeitsgruppe oberhalb der Makroebene angeordnet – die Modellierungsergebnisse werden aber auf die Makroebene projiziert. Umgekehrt erfolgte die betriebsökonomische Bestandsaufnahme auf der Ebene der Befragung landwirtschaftlicher Einzelbetriebe. Diese Ergebnisse werden wiederum über eine Betriebstypenbildung auf die nächst höhere Ebene gebracht. Direkt auf der Mesoebene erfolgte die Auswertung von Satellitenbildern zur Ableitung der Landnutzung und Landbedeckung gestützt durch Felderhebungen. Dieser Aspekt der Zusammenarbeit auf verschiedenen Ebenen soll anhand der Abbildung 3.2 verdeutlicht werden.

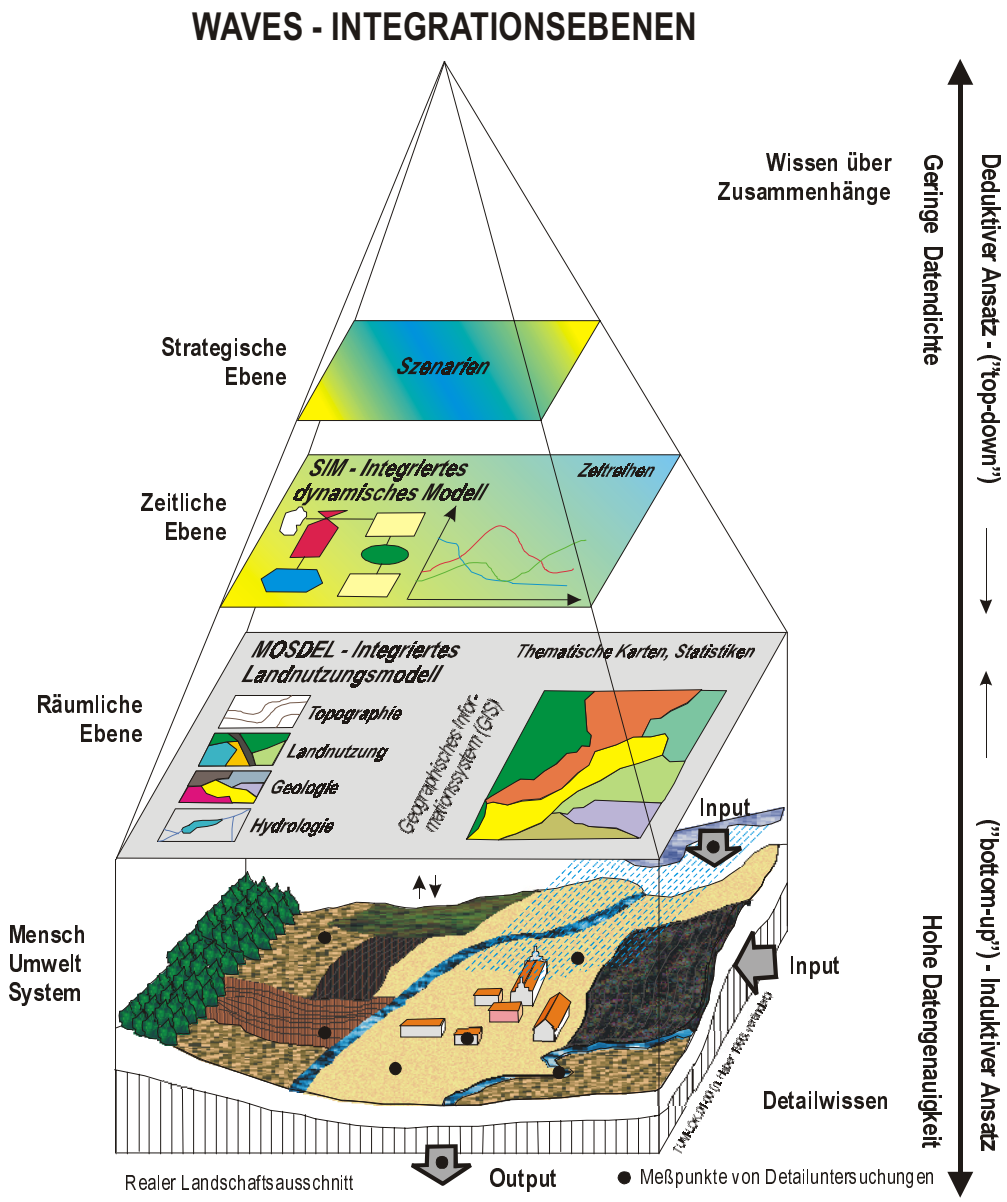


Abb. 3.2: Pyramidendarstellung der Zusammenarbeit auf verschiedenen räumlichen und methodischen Ebenen (verändert nach Haber, 1993).

Die Basis für die Pyramide bildet die Landschaft und das Mensch-Umwelt-System. Hier erfolgt die Arbeit vor Ort. Diverse Messungen, Felduntersuchungen und Experimente werden durchgeführt. Die hier gewonnenen Arbeitsergebnisse werden durch Bildung geeigneter räumlicher Einheiten - z.T. beschränkt auf Ausschnitte des Gesamtgebietes- auf die räumliche Ebene projiziert. Das Instrumentarium, das auf dieser Ebene eingesetzt wird ist das Geographische Informationssystem. Auf der nächsten Ebene werden räumlich untergliedert die wesentlichen Systemdynamiken für das Gesamtgebiet formuliert. Das Arbeitsinstrument hierfür sind dynamische mathematische Modelle. An der Spitze der Pyramide steht die strategische Ebene, wo Expertenwissen zusammengeführt, Risiken und Strategien beschrieben werden.
In WAVES wurde dieses Integrationsschema auf drei Ebenen realisiert. Auf der räumlichen Ebene erfolgt die Integration der Forschungsergebnisse aus den einzelnen disziplinären Arbeitsgruppen. Dafür wurde als Integrationsinstrument das Modell zur Entwicklung einer nachhaltigen Landnutzung (MOSDEL) entwickelt, welches für das Focusgebiet Picos auf Mesoebene installiert ist. Es bilanziert für eine Sequenz von Jahren verschiedene Größen, wie Erträge, Konsum und Vermarktung (siehe Kapitel 5). Die raum-zeitliche Ebene für die Gesamtregion ist

durch das Integrierte Modell (SIM) repräsentiert (siehe Kapitel 6). Es basiert auf der Integration der von den Arbeitsgruppen entwickelten Modelle und kann dadurch als integriertes Modell Dynamiken des betrachteten Systems abbilden. Die räumliche Bezugsebene ist die Makroebene auf Basis der Verwaltungsbezirke (Munizipien) als räumlich Diskretisierungseinheit. Die strategische Ebene wird durch die Formulierung von integrierten Szenarien vertreten (siehe Kapitel 7).

3.3 Skalen und Skalenübergänge

Bei fachübergreifender Forschung im Rahmen des Globalen Wandels werden prinzipiell eine große Anzahl verschiedener Prozesse behandelt mit einem typischen Maßstabsbereich für die jeweilige Fachdisziplin, woraus sich gerade für diesen Forschungsbereich das Problem unterschiedlicher Maßstabsbereiche ergibt (Wessmann, 1992). Auch in WAVES erfordern die Fragen der Skalen und Skalierung eine besondere Aufmerksamkeit. Die Bearbeitung erfolgt auf verschiedenen Maßstabsebenen, der typischen Arbeitsweise der einzelnen Fachbereiche entsprechend und den verschiedenen Ebenen der Entscheidung und Handlung Rechnung tragend.
Unter Skalen werden hier die Ausdehnung (Raumbezug) und/oder Dauer (Zeitbezug) verstanden, für welche die jeweilige Untersuchung (Messung, Modellierung) repräsentativ ist. Neben der gesamten Ausdehnung/Dauer ist auch die Frage der räumlichen und/oder zeitlichen Auflösung (Unterteilung, Abstand) von hoher Wichtigkeit. Mit Skalierung sollen hier die Übergänge zwischen verschiedenen Skalen bezeichnet werden. Die Nutzung, Identifikation oder Entwicklung spezifischer, an die Problemstellung angepasster, Skalierungsverfahren ist eine der wichtigen fachübergreifenden Methoden dieses Projektes. In Anlehnung an Blöschl (1996) kann man für Skalenbetrachtungen verschiedene Ebenen unterscheiden:

- Prozessskala: tatsächliche räumliche Ausdehnung / zeitliche Dauer eines Prozesses (z.T. abhängig auch von der Prozessdefinition);
- Messskala: räumliche Ausdehnung / zeitliche Dauer, die von der Messung erfasst wird (abhängig vom Messgerät und -verfahren);
- Modellierungsskala: räumliche Ausdehnung / zeitliche Dauer, für welche der Modellansatz gültig ist (abhängig vom gewählten Modellierungsansatz);
- Anwendungsskala: räumliche Ausdehnung / zeitliche Dauer, für die konkrete Fragestellungen bearbeitet bzw. Problemlösungen angefordert werden (abhängig vom Anwendungsziel).

In Abbildung 3.4 sind typische räumliche Skalen einzelner im WAVES Projekt beteiligter Disziplinen skizziert. Diese Abbildung beinhaltet keineswegs alle bearbeiteten Skalen. Sie dient aber zur Verdeutlichung der prägnanten Unterschiede sowohl bezüglich der Ausdehnung als auch der Unterteilung. In Abbildung 3.5 werden die von den verschiedenen Fachbereichen bzw. Arbeitsgruppen in WAVES üblicherweise verwendeten, „typischen“ Raum- und Zeitskalen (bezüglich Ausdehnung und Dauer) zusammengefasst. Man erkennt, dass der Skalenbereich sowohl für den Zeit- als auch den Raumbezug mehrere Größenordnungen umfasst.

Für die Verbindung verschiedener Skalen (Skalierung) gibt es zwei klassische Ansätze:

- „Upscaling“ (oder auch „bottom-up“-Ansatz). Hierbei wird versucht, detaillierte, kleinräumige (kurzzeitige) Informationen zu verallgemeinern („regionalisieren“) und darauf aufbauend die Informationen für eine grössere Fläche (längeren Zeitraum) abzuleiten
- „Downscaling“ (oder auch „top-down“-Ansatz). Hierbei wird versucht, großflächig (langandauernd) verfügbare Informationen mit grundlegendem, detailliertem Prozesswissen in Verbindung zu setzen und darauf aufbauend spezifische Informationen für ausgesuchte, subskalige Gebiete (Zeiträume) abzuleiten.

Beide genannten Ansätze wurden in WAVES, je nach spezifisch bearbeiteter Fragestellung, angewendet. Dabei kommt für die experimentell ausgerichteten Arbeiten eher das Upscaling und für die großräumigen Modellierungen eher das Downscaling in Betracht. Gerade die Verbindung beider Ansätze kann für die verschiedenen Arbeitgruppen neue Erkenntnisse liefern. In der Praxis entsteht so ein Wechselspiel von Up- und Downscaling, was von Root und Schneider (1992) auch als „strategische zyklische Skalierung“ bezeichnet wurde.

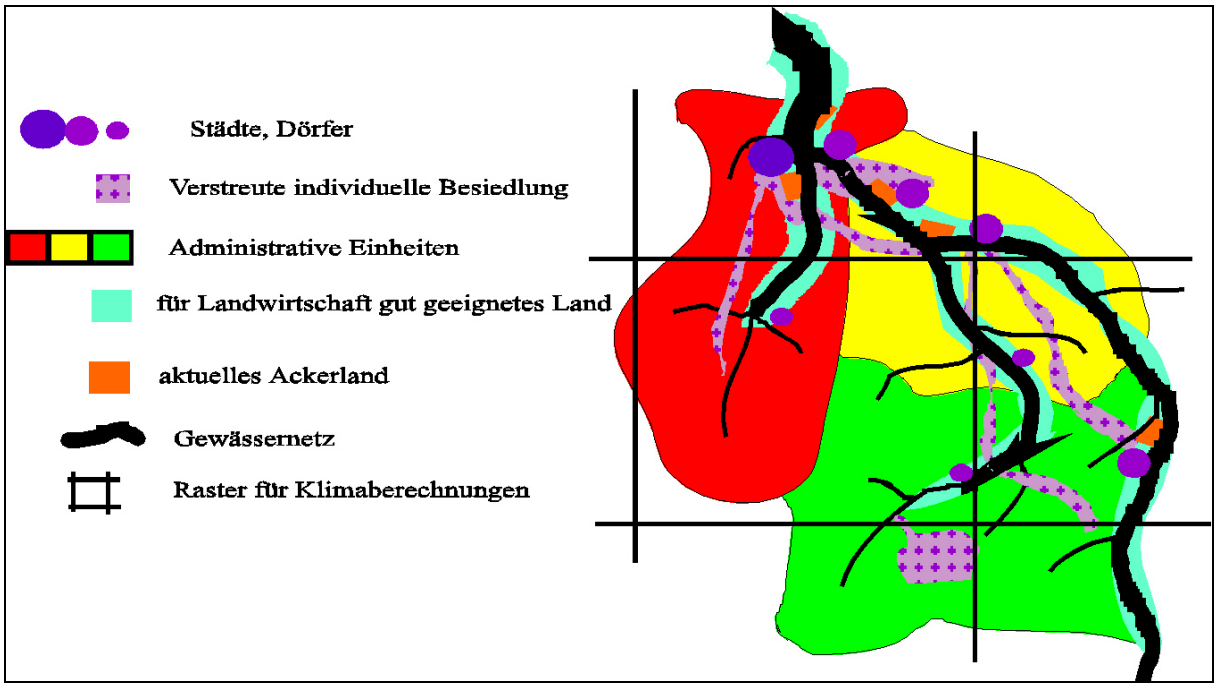


Abb. 3.3: Skizzierung einiger typischer Skalen im WAVES Projekt

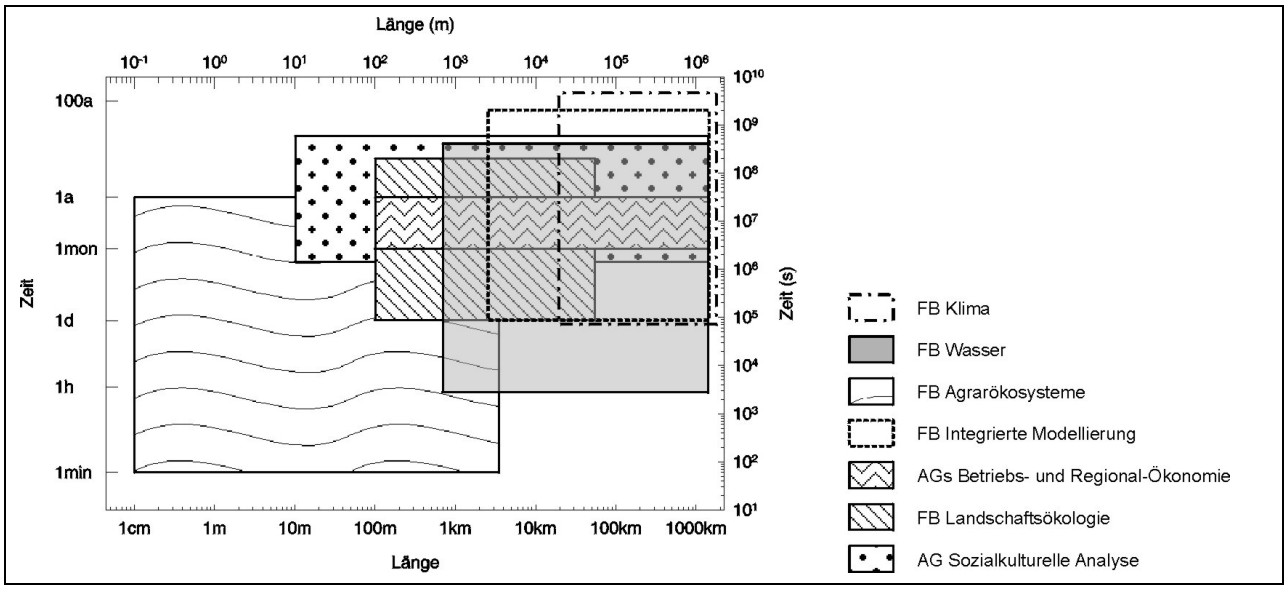


Abb. 3.4: „Typische“ Raum- und Zeitskalen in WAVES

Zur Erleichterung der Verständigung mit anderen Forschungsprojekten und innerhalb des Projektes wurde es als sinnvoll erachtet, für die hier bearbeiteten räumliche Skalenbereiche eine gemeinsame Bezeichnung einzuführen. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass diese Bezeichnungen spezifisch für dieses Projekt gewählt wurden und nicht mit Skalendefinitionen anderen Disziplinen (z.B. Meteorologie oder Hydrologie) übereinstimmen:

- **Mikroskala:** Messpunkte (etwa Klimastation, Bodenfeuchtemessung), Felder, einzelne Pflanzen, landwirtschaftliche Betriebe, Familien, Individuen
- **Mesoskala:** kleine bis mittlere Einzugsgebiete (von Flüssen und Stauseen), Raster des Klimamodells, Landschaftseinheiten, Vegetationstypen, Bodentypen, Verwaltungsbezirke (Munizipien), Dörfer und Städte, landwirtschaftliche Betriebstypen
- **Makroskala:** Große Einzugsgebiete, Regionen der Bundesstaaten, Bundesstaaten, Klimamodell

In allen drei Skalenbereichen wurden bestimmte Fragestellungen bearbeitet, so dass diese Skalenbereiche gleichzeitig als Bearbeitungsebenen fungieren. Neben der Definition der Bearbeitungsebenen ist die Festlegung (zumindest) einer gemeinsamen Integrationsebene erforderlich. Dadurch wird gewährleistet, dass die in den „typischen Skalen“ der verschiedenen Disziplinen gewonnenen Informationen auch für die Partner (in verallgemeinerter, evtl. mit Genauigkeitsverlust verbundener Form) zur Verfügung gestellt werden. Als gemeinsame Skala wurde von allen Projektbeteiligten die Fläche der beiden Bundesstaaten Ceará und Piauí (Ausdehnung) bei einer Unterteilung in Verwaltungsbezirke (Auflösung) festgelegt. Der Zeithorizont beträgt ca. 50 Jahre, bei einer zeitlichen Auflösung zwischen 1 Tag und 1 Jahr.

3.4 Untersuchungsgebiet, Datenerhebungen und Datengenerierung, Schnittstellen

Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Auf der großskaligen Ebene wurden die nordostbrasilianischen Bundesstaaten Ceará und Piauí als Untersuchungsgebiete ausgewählt. Beide Staaten liegen im Einflussbereich des Polygons der Trockenheit (Abb. 3.5). Etwa 82 % der Fläche Piauís und 92 % Cearás können diesem Gebiet zugerechnet werden. Etwa 18 % des Territoriums von Piauí fallen in die Übergangszone zwischen semiariden Nordosten und dem humiden Amazonasgebiet und sind somit wesentlich feuchter als das übrige Gebiet. Diese Übergangszone verläuft im Norden entlang der Grenze zu Maranhão und dem südwestlichen Teil des Landes. Dadurch ergibt sich innerhalb des Untersuchungsgebietes ein deutlicher Klimagradient der von Südwesten nach Nordosten zum Zentrum des Polygons der Trockenheit abnimmt und dann wieder zur Küste hin ansteigt. Aufgrund der natürlichen Klimavariabilität verläuft die Grenze jedoch nicht starr, sondern kann von Jahr zu Jahr anders verlaufen.
Das Bestehen dieses Klimagradienten war ein Kriterium für die Wahl dieser beiden Staaten auf der Makroskala. Darüber hinaus spielten auch ökologische und sozioökonomische Eigenschaften dieser beiden Bundesstaaten eine wichtige Rolle, deren Unterschiede sich aber vor allem auf den unteren Skalen bemerkbar machen.

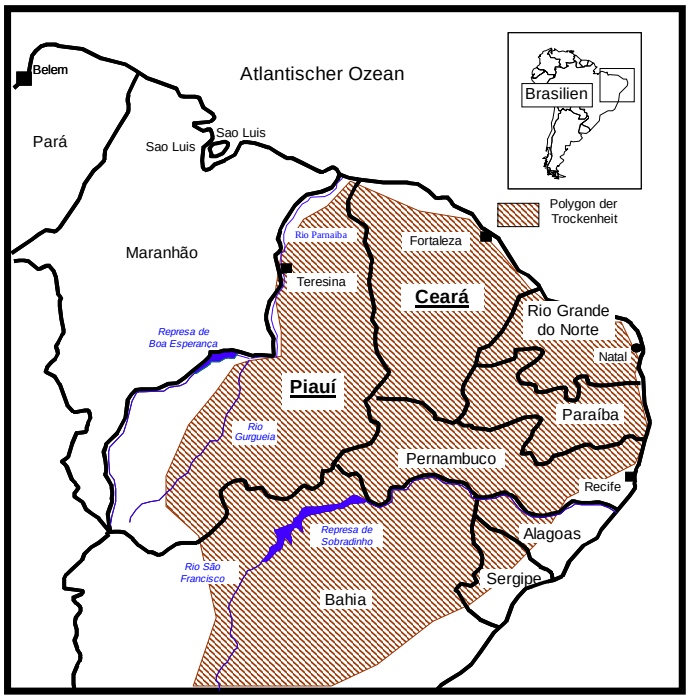


Abb. 3.5: Lage des Untersuchungsgebiets und Verbreitung des Polygons der Trockenheit in Nordostbrasilien

Tab. 3.1: Einteilung der Bundesstaaten Ceará und Piauí in agroökologische Zonen und dazugehöriges Referenzmunizip

Agroökologische Zonen	Referenzmunizip
Litoral	Guaiúba
Sertão	Quixada
Meio-Norte	Sigefredo Pacheco
Cerrado	Floriano

Für die erste Projektphase wurden beide Staaten wurden vom Fachbereich soziokulturelle und sozioökonomische Analysen anhand von Daten des IBGE (Instituto Brasiliero de Geografia e Estatística) in vier Untereinheiten, sogenannte agroökologische Zonen, eingeteilt, die jeweils ähnliche ökologische und sozioökonomische Charakteristika aufweisen. Jeder Zone wurde ein Referenzmunizip zugewiesen (Tab. 3.1).

Unterhalb dieser Ebene stellt das Munizip die nächst niedrigere gemeinsame räumliche Ebene dar. Diese Ebene wird im Projekt durch die Fokusgebiete repräsentiert, die sich teilweise aus mehreren Munizipien zusammensetzen. Die Fokusgebiete wurden entlang des oben beschriebenen Klimagradienten ausgewählt und aufgrund für Nordostbrasilien repräsentativer ökologischer und sozioökonomischer Eigenschaften identifiziert, um eine gute Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Regionen zu gewährleisten. Je eines dieser Fokusgebiete liegt in Ceará und Piauí. Ergänzend stehen Daten im Tal des Gurgéia Flusses (Vale do Gurgéia), vor allem in der Gegend der Siedlung Projeto Piloto, ebenfalls in Piauí gelegen, zur Verfügung. Abbildung 3.6 gibt eine Übersicht über das Untersuchungsgebiet von WAVES einschließlich der Lage der beiden Fokusgebiete Picos und Tauá.
Die Fokusregion **Tauá** besteht aus einem größeren Munizip und liegt im Südosten Cearás auf dem kristallinen Grundgebirgssockel. Klimatische und sozioökonomische Bedingungen, insbe-

sondere die Infrastruktur, sind äußerst ungünstig. Es gehört mit zu den trockensten Standorten in Ceará. Im Durchschnitt fallen weniger als 600 mm Niederschlag, verteilt auf 4 bis 5 Monate bei einer Jahresmitteltemperatur von 25°C. Allerdings können die Niederschläge von Jahr zu Jahr sehr stark schwanken. Die Wasserversorgung ist sehr problematisch. Es gibt vier größere Stauseen mit Fassungsvermögen zwischen 5 und 30 Millionen m³, wobei der größte durch den hohen Salzgehalt für Bewässerungsmaßnahmen ungeeignet ist. Augenfällig sind Desertifikationserscheinungen infolge intensiver Beweidung. Die Lebensbedingungen sind sehr schlecht. Die Arbeitslosenquote ist sehr hoch, weshalb der mobile Teil der Bevölkerung verstärkt aus diesem Gebiet abwandert.

Auch in dem in Piauí gelegenen Fokusgebiet **Picos**, das sich über 4 Munizipien erstreckt, ist das Klima typisch semiarid. Die Niederschläge liegen bei etwa 800 mm, verteilt auf sechs Monate. Die Jahresmitteltemperatur ist ähnlich hoch wie in Tauá. Seit Mitte der siebziger Jahre werden in diesem Gebiet fossile Grundwasservorkommen erschlossen, deren schonende Nutzung sowohl aus hydrologischer als auch aus soziokulturellen und ökonomischen Gesichtspunkten wichtig ist. Die Verfügbarkeit von Wasser hat für die Produktionsmöglichkeiten dieses vorwiegend landwirtschaftlich geprägten Gebietes große Bedeutung. Entsprechend dieser Verfügbarkeit haben sich verschiedene Produktionssysteme ausgebildet. In den Hochlagen, wo das Grundwasser nicht verfügbar ist, hat sich der Regenfeldbau angesiedelt. Hauptkulturen sind Maniok, Cowpea und Cashew, wobei letztere auch intensiv von Großbetrieben angebaut werden. In den Tallagen, wo das Grundwasser über Brunnenbohrungen zur Verfügung steht, wird überwiegend Bewässerungslandbau mit einem hohen Anteil von marktfähigen Früchten betrieben. Eine nachhaltige Nutzung der Wasserressourcen im Tal wird die zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten der Region entscheidend beeinflussen.
Weitere Informationen zum Untersuchungsgebiet und den Fokusregionen können Kapitel 4 und den Statusberichten der einzelnen Arbeitsgruppen im Band 2 entnommen werden

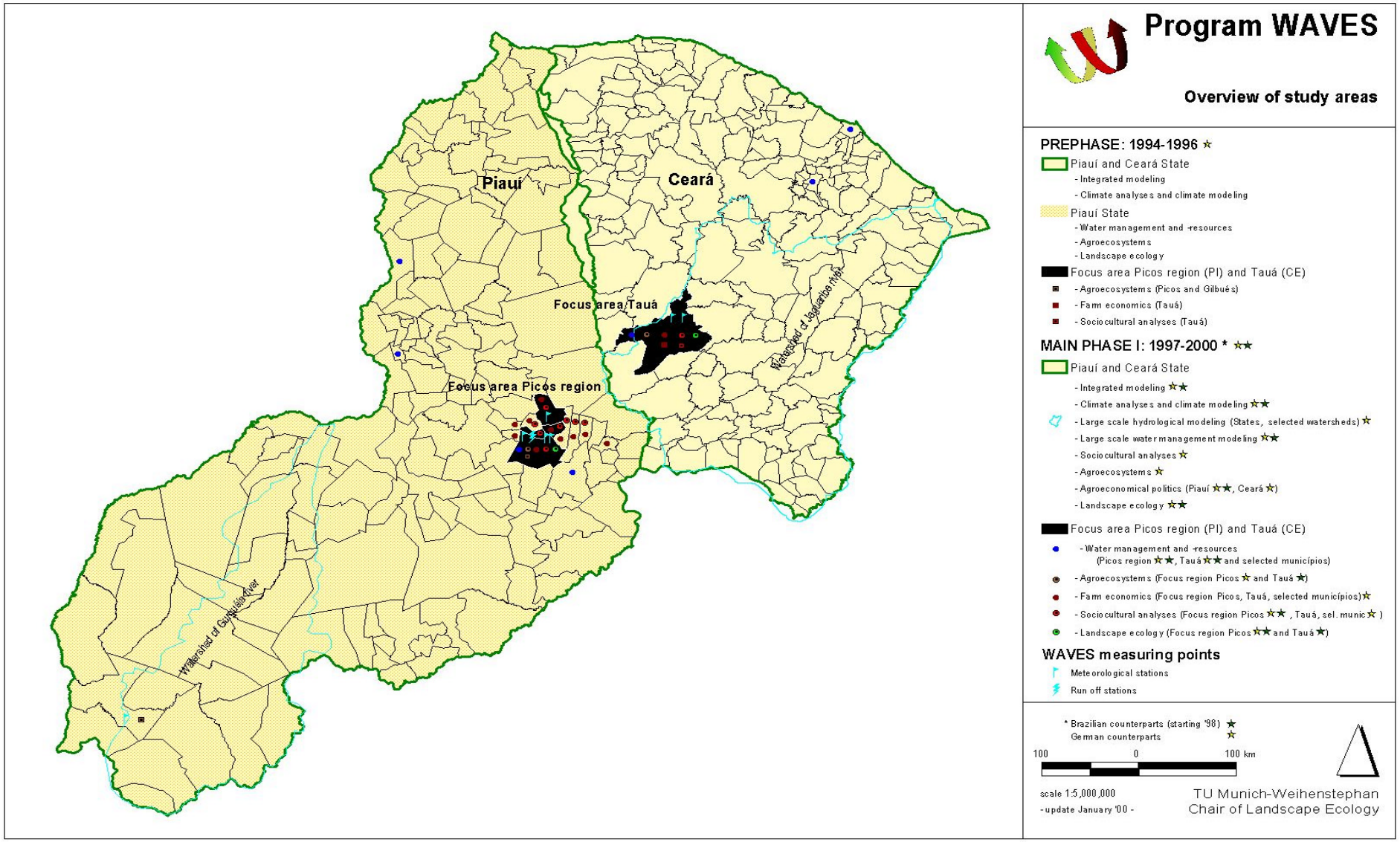


Abb. 3.6: Übersicht über das Untersuchungsgebiet von WAVES und geographische Verteilung der Feldaktivitäten in Piauí und Ceará

Tab. 3.2: Übersicht über Art der Datenerhebung und Weiterverwendung der Daten in den einzelnen Arbeitsgruppen

Fachbereich	Arbeitsgruppe	Art der Datenerhebung	Verwendung der Daten
Klima	Klimaanalyse und -modellierung	Literaturrecherche, externe Datenbanken, Messstationen	Klimaanalyse, Modelentwicklung, Validierung
Wasser	Wassermanagement und -ressourcen	Literaturrecherche, externe Datenbanken, Felderhebungen	Analyse der Wasserqualität, Entwicklung und Validierung von WARIG, Wasserstrukturanalyse
	Großskalige Wassermanagementmodellierung	Literaturrecherche, externe Datenbanken, Felderhebungen	Entwicklung und Validierung von NoWUM
	Großskaliges hydrologische Modellierung	Literaturrecherche, externe Datenbanken, Felderhebungen	Programmentwicklung, großräumige Parametrisierung, Validierung
Agrarökosysteme	Bodenkunde	Bodenkartierung, Erhebung von Standortdaten, Feldversuche, externe Datenbanken, Literaturrecherche	Standortdatenbank, Entwicklung und Validierung von HILLFLOW, Erarbeitung von Skalierungstechniken für den Fachbereich Agrarökosysteme
	Pflanzenernährung	Feldversuche, Erhebung von Standortdaten, Literaturrecherche	Validierung und Kalibrierung des Nähstoffmoduls von EPIC und ALMANAC
	Pflanzenbau	Feldversuche, Erhebung von Standortdaten, Literaturrecherche	Validierung und Kalibrierung von EPIC und ALMANAC
Sozioökonomische und -kulturelle Analysen	Betriebsökonomie	Literaturrecherche, Felderhebungen in den Fokusgebieten, Betriebsbefragungen	Entwicklung und Validierung eines betriebswirtschaftlichen Modells für die Region
	Landwirtschaftliches Regionalmodell	Literaturrecherche, Felderhebungen in den Referenzregionen,	Entwicklung und Validierung von RASMO
	Soziokulturelle Analysen	Datenbanken, Literaturrecherche, Felderhebungen, Gemeindebefragungen	Entwicklung des Lebensqualitätskonzept, Analyse der Entscheidungs- und Adaptationsstrategien, Entwicklung des Bedrohungs-Kompetenz-Adaptationsmodells und eines flächenbezogenen Lebensqualität-Migration Modells
Landschaftsökologie		Literaturrecherche, Fernerkundung, Geländereferenzkartierung, Messstationen	Aufbau einer GIS gestützten Datenbank, Entwicklung und Validierung von MOSDEL und WARIG
Integrierte Modellierung		Sekundärdaten, Testläufe, Literaturrecherche	Entwicklung und Validierung des integrierten Regionalentwicklungsmodells SIM, Einbindung der Teilmodelle

Datenerhebungen und Datengenerierung

Abbildung 3.6 gibt einen Überblick über die räumliche Verteilung der Feldaktivitäten der einzelnen Arbeitsgruppen und Fachbereichen. Die Art der Datenhebung und Verwendung dieser Daten innerhalb der einzelnen Arbeitsgruppen und Fachbereiche ist in Tabelle 3.2 aufgeführt.
Die Feldaktivitäten auf deutscher Seite werden zusammen mit den brasilianischen Institutionen durchgeführt und/oder durch originäre Arbeiten der brasilianischen Partner im Projekt komplettiert. Dabei werden die Fragestellungen in den einzelnen Arbeitsgruppen und Fachgebieten komplementär bearbeitet, wodurch das Wissen und das Verständnis über die Systemzusammenhänge optimiert wird.
Die gesammelten Informationen stehen in unterschiedlich aufbereiteter Form zur Verfügung und können von den einzelnen Teilprojekten jeder Zeit abgerufen werden. Dabei spielt das Internet-Kommunikationsmedium zu WAVES, *Hyper-WAVES,* als zentrales Medium eine wichtige Rolle. Hierüber können neben der offiziellen Homepage des Projektes eine Reihe von wichtigen Informationen, wie z. B. Literatur zur Projektregion, Projektberichte und Beschreibungen der Teilmodelle, abgerufen werden. Darüber hinaus sind Klima-, Boden-, Vegetations-, landwirtschaftliche und sozioökonomische Daten in den einzelnen Arbeitsgruppen vorhanden und können den anderen Arbeitsgruppen bei Bedarf zur Verfügung gestellt werden.

Schnittstellen

Im Rahmen des Verbundprojektes untersuchen die Fachbereiche Klimaanalyse und -modellierung, Wasser und Agrarökosysteme das Untersuchungsgebiet hinsichtlich seiner potentiellen Tragfähigkeit aufgrund der natürlichen Ressourcen. Gleichzeitig analysiert ein vierter Fachbereich die soziokulturellen und ökonomischen Bereich (siehe Kapitel 4, Systembeschreibung). Die Ergebnisse dieser Analysen werden von den Fachbereichen Integrierte Modellierung (siehe Kapitel 6) und Landschaftsökologie (siehe Kapitel 5) sowie der übergreifenden Arbeitsgruppe Szenarien (siehe Kapitel 7) aufgenommen und zu einem fachübergreifenden Bild zusammenfasst. Das Zielgebiet der Integrierten Modellierung ist dabei das gesamte Untersuchungsgebiet, während die Landschaftsökologie die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsgruppen auf der Ebene der Fokusgebiete Picos und Tauá zusammenfasst und für diesen Raum darstellt. Darüber hinaus bestehen zwischen den einzelnen Arbeitsgruppen fachbereichsintern und -übergreifend Schnittstellen, die in Tabelle 3.3 aufgeführt sind.

Tab. 3.3: Direkte Schnittstellen zwischen den Fachbereichen

Fachbereich	Schnittstelle mit	Datenbedarf
Klima (1)	(2) und (3)	Festlegung von Randbedingungen
Wasser (2)	(1), (3) und (4)	Wasserdargebot, Bodenwasserhaushalt, Wasserverbrauch
Agrarökosysteme (3)	(1) und (4)	Klimaszenarien, Wasserdargebot, Wasserbedarf
Sozioökonomische und -kulturelle Analysen (4)	(2) und (3)	Wasserdargebot, landwirtschaftliche Produktion
Landschaftsökologie (5)	allen Fachbereichen	Eingangsparameter, Teilmodelle
Integrierte Modellierung (6)	allen Fachbereichen	Eingangsparameter, Teilmodelle

3.5 Nationale und bilaterale Workshops

Der interdisziplinären Charakter von WAVES verlangt von jedem Fachgebiet eine intensive Auseinandersetzung mit anderen am Projekt beteiligten Arbeitsgruppen. Aufgrund der unterschiedlichen Arbeitsweisen und den jeweiligen Maßstabsebenen ist ein regelmäßiger Informationsaustausch zwischen den Fachbereichen und deren Arbeitsgruppen notwendig. Dieser Austausch wurde durch nationale und bilaterale Workshops gewährleistet. In der Projektlaufzeit fanden fünf nationale und ein bilateraler Workshop statt. Die Workshops hatten folgende Themenschwerpunkte:

- Indikatoren für Lebensqualität in Nordostbrasilien, Kassel, 15./16.09.1997
- Integrierte Modellierung, Potsdam, 25./26.11.1997
- „Kick-off“ Workshop, Fortaleza, Ceará, 09.-12.03.1998
- Räumliche Integration und Skalierung, Weihenstephan, 28./29.04.1998
- Wasser - das integrierende Element, Kassel, 05./06.11.1998
- Modellentwicklung in WAVES, Potsdam, 13./14.01.1999
- Wissenschaftlicher Workshop mit den Arbeitsgruppen in Ceará, Fortaleza, 04.-06.04.1999
- Agrarökonomie, Köln, 30.06/01.07.1999 und
- Darstellung der interdisziplinären Zusammenarbeit, Hohenheim, 09.-10.10.1999

Ferner wurden gemeinsam mit den brasilianischen Partnern folgende bilaterale Seminare in Piauí organisiert:

- Seminar Präsentation der Untersuchungen im Rio Guaribas-Tal, Teresina, Piauí, 12./13.04.1999
- WAVES Informationstag - Präsentation der ersten Ergebnisse und der Aktivitäten in Piauí, Teresina, Piauí, 16.11.1999
- Tag des Wassers und der Landwirtschaft, Picos, Piauí, 19.11.1999

Darüber hinaus finden auf nationaler und bilateraler Ebene häufig Arbeitstreffen zwischen einzelnen Arbeitsgruppen und Fachbereichen statt.

3.6 Modellierung

Eine der wesentlichen Ansprüche des WAVES-Projektes ist die Abstrahierung der Ergebnisse der Fachbereichsarbeit und die anschließende Verbindung in einer übergeordneten Ebene. Die Erfüllung dieses Anspruchs soll einerseits die Umsetzung der Projektergebnisse in wissenschaftlich fundierte Planungsinstrumente ermöglichen und andererseits eine künftige Übertragung in ähnlich gelagerte Regionen der Erde vorbereiten. Beide hier wesentlichen Punkte - Abstrahierung und Verbindung - lassen sich konsequent nur durch die Entwicklung und /oder Anwendung von Modellen erreichen.
Dabei betrifft die Abstrahierung in erster Linie die Modelle innerhalb der Fachbereiche, die Verbindung die Entwicklung und Anwendung eines integrierten Modells. Eine wesentliche Bedingung für beide Modelltypen bildet die Aufbereitung von experimentell erhobenen oder aus anderen Quellen gewonnen Daten, deren Transferierung in modelladäquate Parameter (Parametrisierung), sowie gegebenenfalls die Vorhaltung und Visualisierung in einem GIS.
Generell kann eine Modellierung ohne die Verbindung zu Messwerten und davon abgeleiteten Datenebenen nur beschränkt verwertbare Ergebnisse liefern. Um dies zu vermeiden wurde in

WAVES besonderer Wert darauf gelegt, die Ergebnisse der Experimente soweit wie möglich direkt in die Modellierungsarbeiten einfließen zu lassen und/oder anhand von ausgewählten Messwerten die Modelle zu eichen oder zu überprüfen („ground check“).
Ein wichtiger Aspekt der integrierten Modellierung ist die Erstellung von Szenarien. Damit wird die Zusammenstellung der Randbedingungen (im Sinne der „externen Kräfte“, wie in Kapitel 2 definiert) für das integrierte Modell verstanden. Die Vorgabe der Randbedingungen ist von hoher Wichtigkeit für die Modellanwendung, da diese (neben Datenverfügbarkeit, Modellstruktur und interner Dynamik) die Modellergebnisse bestimmen. Aus der Analyse der resultierenden Modellergebnisse („Szenarienanalyse“) sollen künftig z.B. Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Entwicklung der Region abgeleitet werden. Dieser Aspekt wird in Kapitel 7 noch ausführlich behandelt.

4 Systembeschreibung

Für die Modellierung der für die Zielstellung wichtigsten Prozesse bedarf es einer umfassenden Analyse des Gesamtsystems. Diese Analyse umfasst eine Definition der Subsysteme mit ihren Systemkomponenten, eine Formulierung ihrer Wechselwirkungen sowie eine Beschreibung des Ist-Zustandes des Gesamtsystems. Es werden die fünf Systemkomplexe Klima, Wasser, Naturraum und Landnutzung, Ökonomie sowie Soziale Systeme unterschieden, die sich vielfältig durchdringen und beeinflussen (Abb. 4.1). Die Beschreibung des momentanen Ist-Zustandes der modellrelevanten Subsysteme und ihrer Wechselwirkungen erfolgt zunächst auf der bundesstaatlichen Ebene von Ceará und Piauí und wird durch Informationen aus kleinräumigeren Einheiten der Fokusgebiete oder Regionen ergänzt. Im Anschluss folgt eine kurze, übergreifende Darstellung der Wechselwirkungen zwischen den Subsystemen und deren Systemkomponenten.

Die Beschreibung der Systemkomponenten wurde von den einzelnen Fachbereichen des WAVES Programms zusammengestellt:

Systemkomplex	Fachbereich
Klima	Klimaanalyse
Wasser	Großskalige hydrologische Modellierung,
	Großskalige Wassermanagementmodellierung,
	Wassermanagement und –ressourcen
Landnutzung	Landschaftsökologie,
	Bodenkunde,
	Pflanzenbau,
	Pflanzenernährung,
	Regionalökonomie
Ökonomie	Regionalökonomie,
	Betriebsökonomie,
	Soziokulturelle Analysen
Soziale Systeme	Soziokulturelle Analysen

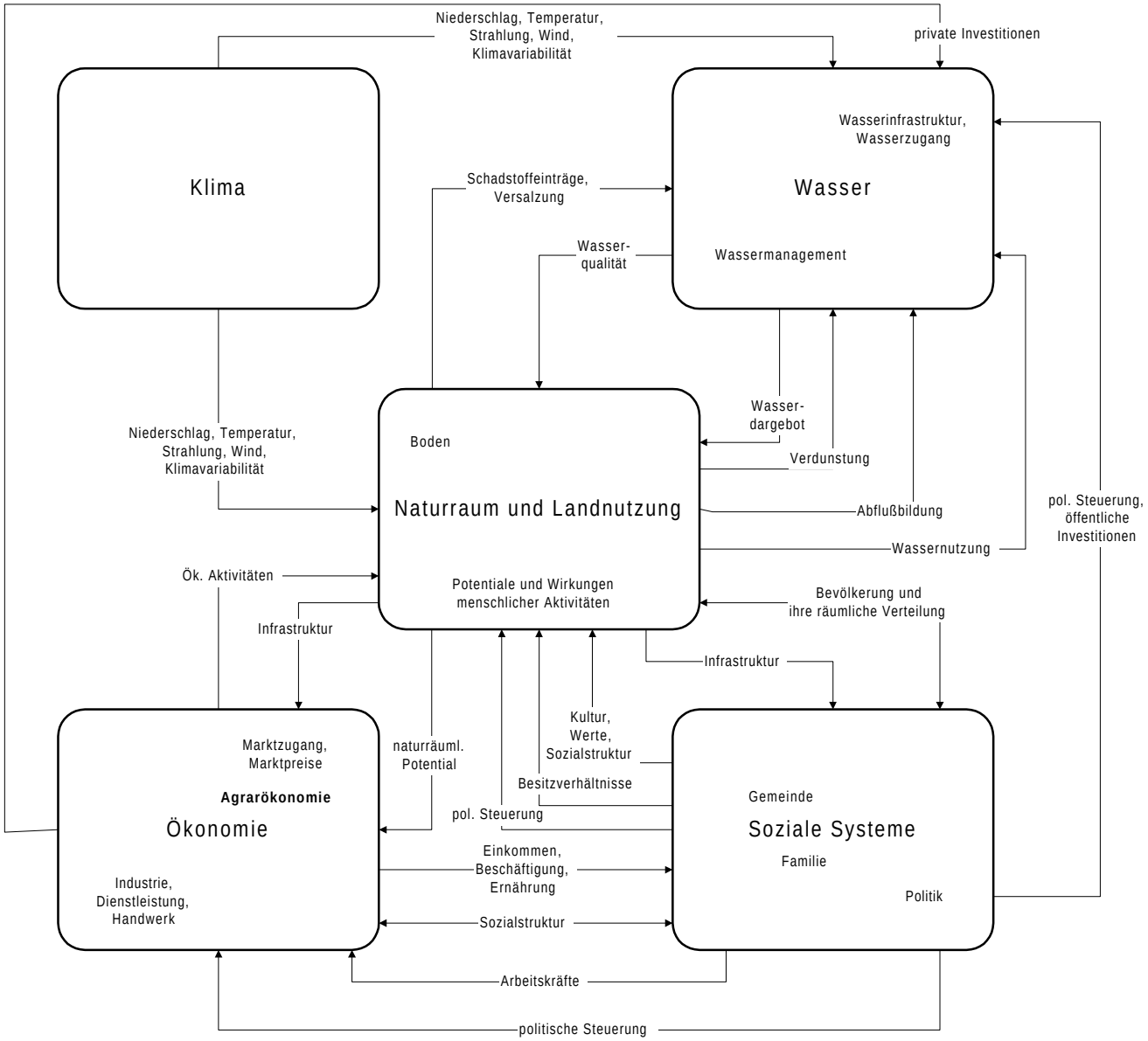


Abb. 4.1: Modellrelevante Subsysteme und deren Schnittstellen

4.1 Beschreibung des Ist-Zustandes

4.1.1 Klima

Der Nordosten Brasiliens ist eine semi-aride Region, dessen wesentliche klimatologische Größe der Niederschlag ist. Das heißt, schon geringe Änderungen dieser Größe führen zu klimatischen Wirkungen, die die Wasserverfügbarkeit und damit die Vegetation, die Wasser- und Landwirtschaft, die Industrie und somit die Gesellschaft als Ganzes erheblich beeinflussen.

Klimatisch lässt sich der derzeitige Zustand der Region wie folgt charakterisieren:
Das Untersuchungsgebiet ist gekennzeichnet durch ein Kernpassatwechselklima mit sommerlicher maritimer Randpassatwitterung. Wesentlichstes Charakteristikum dieses Klimas ist eine ausgedehnte niederschlagsarme Winterperiode. Die Gebirgs- und Küstenregionen weisen durch die angrenzenden Randklimate eine modifizierte Klimacharakteristik auf. Der Jahreszyklus von Regen- und Trockenzeit wird gesteuert durch die großräumige Zirkulation.
In Abbildung 4.1.1.1 ist dieser Zyklus schematisch dargestellt. Man erkennt, dass die zwei Jahreszeiten von der Lage der Innertropischen Konvergenzzone (ITCZ) bestimmt werden, die sich wiederum nach der Lage des nordatlantischen bzw. südatlantischen Hochdruckgebietes richtet. Die Lage der Hochdruckgebiete ist von der jeweils herrschenden Meeresoberflächentemperatur (SST) abhängig. Verschiebt sich aufgrund dieser Zusammenhänge zum Beispiel die ITCZ in einem Jahr nicht weit genug nach Süden, kommt es zu einer Abschwächung der Regenzeit, die in eine Dürre münden kann (Hastenrath, 1991).
Ein weiteres Phänomen, das die klimatischen Bedingungen in diesem Gebiet nachhaltig beeinflusst, sind die El Nino-Ereignisse, die bisher in den meisten Fällen zu verstärkten Dürreperioden, in Einzelfällen aber auch zu einer Verstärkung der Regenzeit geführt haben (Parry et al., 1988).
Die räumliche Struktur der Niederschlagsverteilung ist in Abbildung 4.1.1.2 dargestellt und weist folgende wichtige Merkmale auf:

- Der Niederschlag nimmt von der Küste zum Landesinneren hin deutlich ab.
- Im Westen der Region werden höhere Niederschläge als im Osten beobachtet.
- In den Gebirgsregionen und insbesondere auf deren Luvseiten ist der Niederschlag in der Regel höher als in den anderen Gebieten. Die Höchstwerte liegen zwischen 1900 mm und 2000 mm (Serra da Ibiapaba).
- Ein ausgeprägtes niederschlagsarmes Gebiet (500 mm - 600 mm) erstreckt sich südlich der Serra do Machado bis zum Nordwestrand der Chapada do Araripe (Fokusgebiet Tauá).

Die mittlere zeitliche Verteilung des Niederschlags für die durch eine Regen- und eine Trockenzeit gekennzeichnete Region ist in Abbildung 4.1.1.3 dargestellt. Die Struktur der räumlichen Verteilung des Niederschlags in den einzelnen Monaten entspricht während der Regenzeit (Dezember - Mai) der der Jahresniederschlagsverteilung. In der Trockenzeit lösen sich diese Strukturen fast vollständig auf, so dass im September selbst in den Gebirgsregionen nur noch Niederschlagssummen von 10 mm - 20 mm gemessen werden. Eine weitere Besonderheit in der zeitlichen Entwicklung der Niederschlagsverteilung ist das zu beobachtende deutlich frühere Einsetzen der Niederschläge nach der Trockenzeit im mittleren und westlichen Teil von Piauí im Vergleich zu den übrigen Gebieten. Das betrifft insbesondere die Monate Oktober und November, für die in dem betreffenden Gebiet Monatssummen bis zu 80 mm bzw. 180 mm gemessen werden, im Gegensatz zum Beispiel zur Küstenregion mit Werten um 10 mm.

Am Beispiel der Temperatur soll noch kurz dargestellt werden, dass die Variationsbreite der anderen zur Verfügung stehenden meteorologischen Parameter in Raum und Zeit wesentlich geringer ausfällt als die des Niederschlags. Aus der räumlichen Verteilung der mittleren Tem-

peraturverhältnisse (Abb. 4.1.1.4) ist zu ersehen, dass innerhalb von Piauí und Ceará unter Einbeziehung der Bergregionen Schwankungsbreiten von maximal 7 K auftreten. Ähnlich verhält es sich mit dem Jahresgang der Temperatur (Abb. 4.1.1.5), der eine Amplitude < 3 K im Mittel nicht überschreitet. Bemerkenswert ist noch, dass während der Regenzeit die interdiurne Veränderlichkeit erheblich größer ist als während der Trockenzeit.

Die Klimastationen des WAVES-Projektes liegen in einer Linie, die von Gilbués im Süden Piauís über Projeto Piloto und Picos bis nach Tauá im Südwesten von Ceará reicht. Die Jahressummen des Niederschlags nehmen entlang dieser gedachten Linie von ca. 900 mm (Gilbués) auf etwa 600 mm im Gebiet von Tauá ab (Tab. 4.1.1.1). Des weiteren kann man aus der Tabelle entnehmen, dass es eine Verschiebung des Beginns/Endes von Regen- und Trockenzeit gibt. Die Regenzeit setzt in Gilbués zuerst und in Tauá zuletzt ein. In gleicher Richtung nimmt die Länge der Trockenzeit zu. Obwohl Tauá die Station mit der geringsten Jahressumme des Niederschlags ist, weist sie die höchste Monatssumme (März) auf, das heißt, dass vom klimatologischen Standpunkt aus auf eine ungünstige hydrologische Situation zu schließen ist.

Das Untersuchungsgebiet weist eine sehr hohe natürliche interannuelle Variabilität des Niederschlags auf. Aus Abbildung 4.1.1.6 ist zu erkennen, dass das Flächenmittel des Niederschlags für die Untersuchungsregion zwischen 400 mm (1915) und 1500 mm (1985) schwankt. Diese Variabilität wird begleitet zum einen von starken Schwankungen in der Länge von Regen- und Trockenzeiten sowie tendenziellen Entwicklungen über längere Zeiträume. Abbildung 4.1.1.7 gibt ein charakteristisches Beispiel dafür. Deutlich erkennbar sind die großen Schwankungen in der Dauer der Trockenzeit (zwischen ca. 50 und 270 Tagen) und der Trend hin zu einem späteren Beginn und damit einer Verkürzung der Trockenzeit.

Tab. 4.1.1.1: Mittlere Monatssummen des Niederschlags in mm für die Referenzgebiete, Bezugszeitraum: 1962 - 1971 (auf 10 mm gerundete Werte)

Gebiet	Monat												Jahr
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Gilbués	150	150	120	90	10	10	0	0	10	60	160	150	910
Projeto Pil.	150	170	150	110	20	10	0	0	0	60	130	120	920
Picos	130	150	170	120	30	10	0	0	0	20	50	90	770
Tauá	50	100	200	140	60	20	10	0	0	0	10	30	620

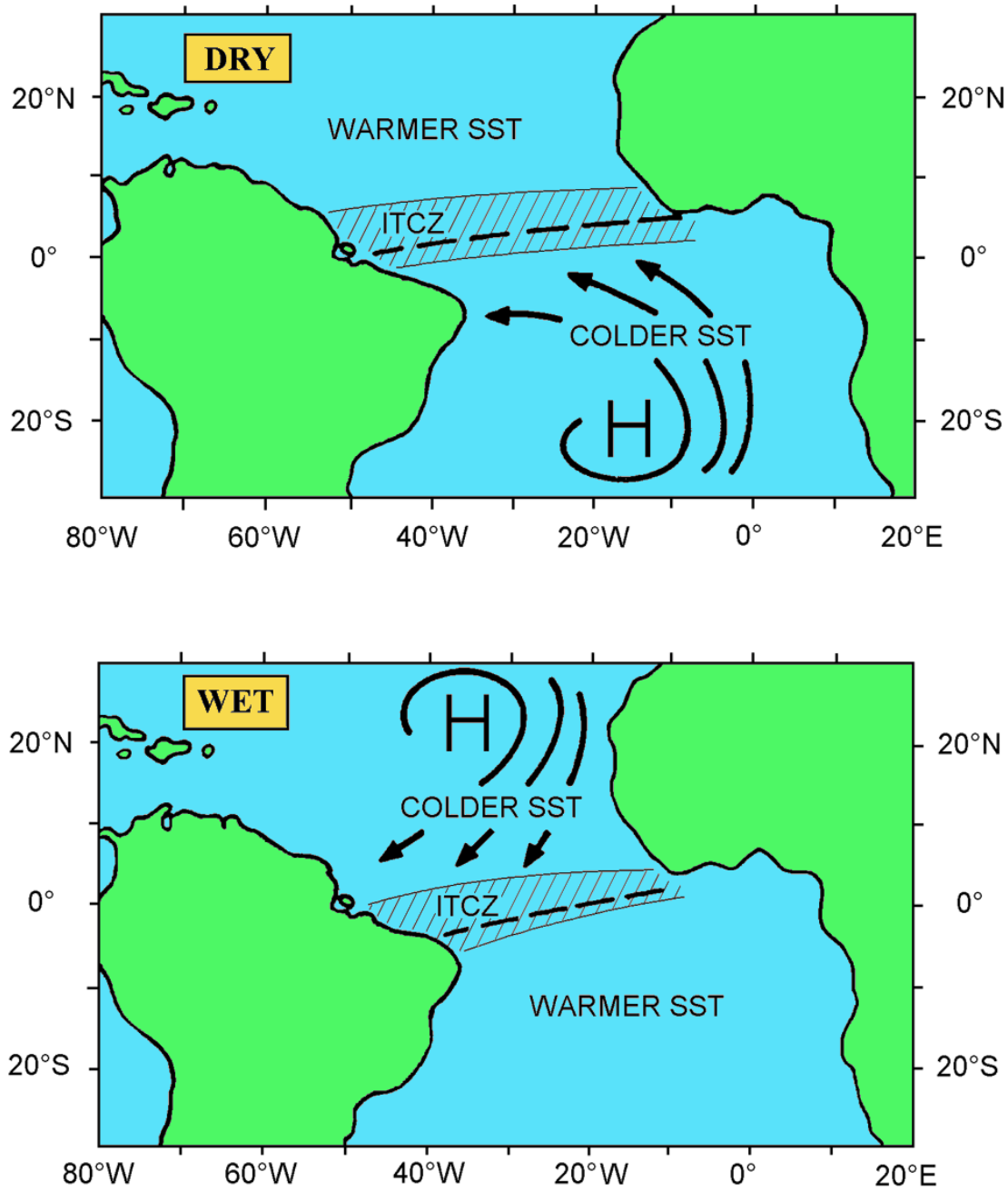


Abb. 4.1.1.1: Schematische Darstellung der großräumigen Zirkulationsverhältnisse im tropischen Atlantik

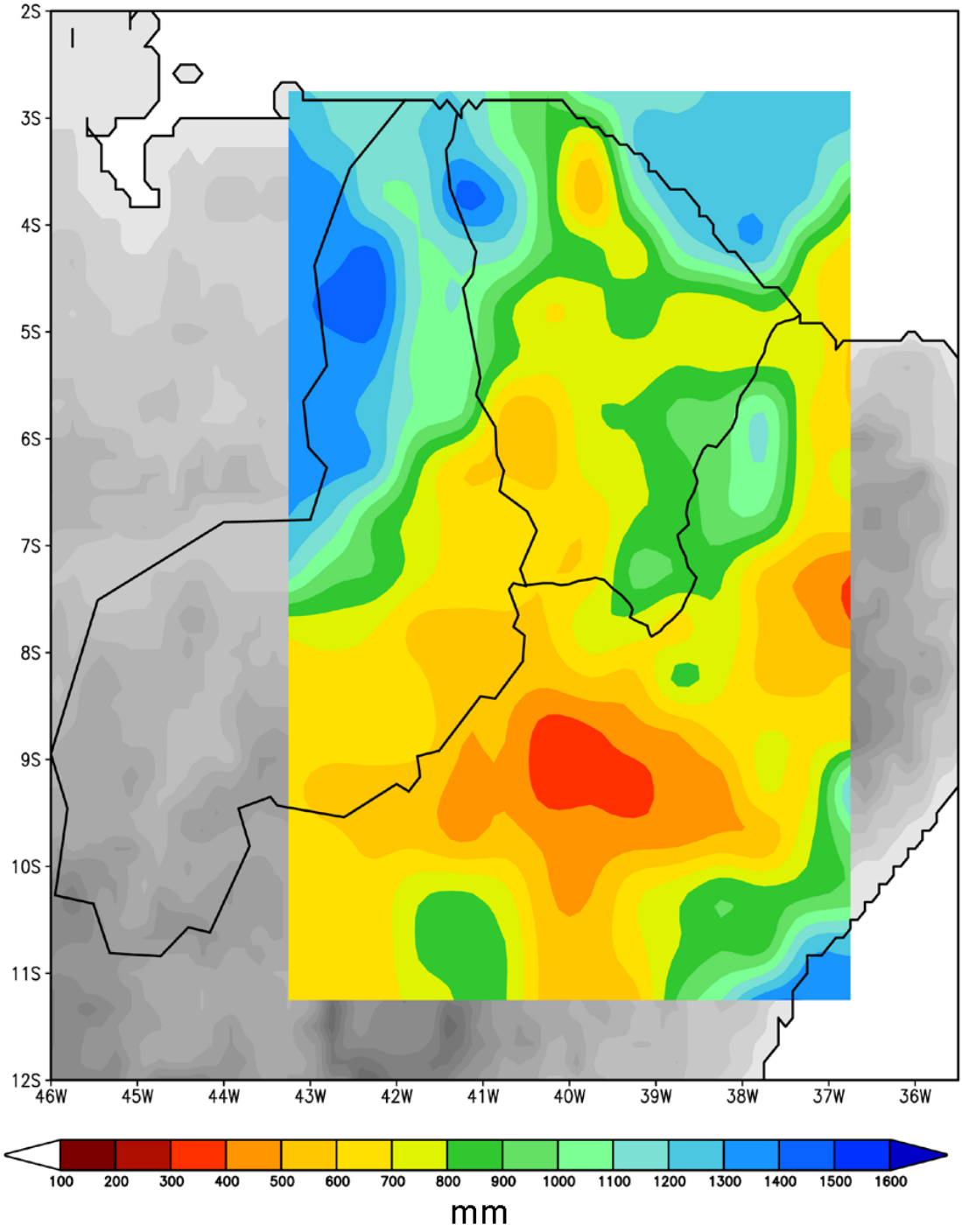


Abb. 4.1.1.2: Räumliche Verteilung der Jahressummen des Niederschlags in Nordostbrasilien, 1921 - 1980

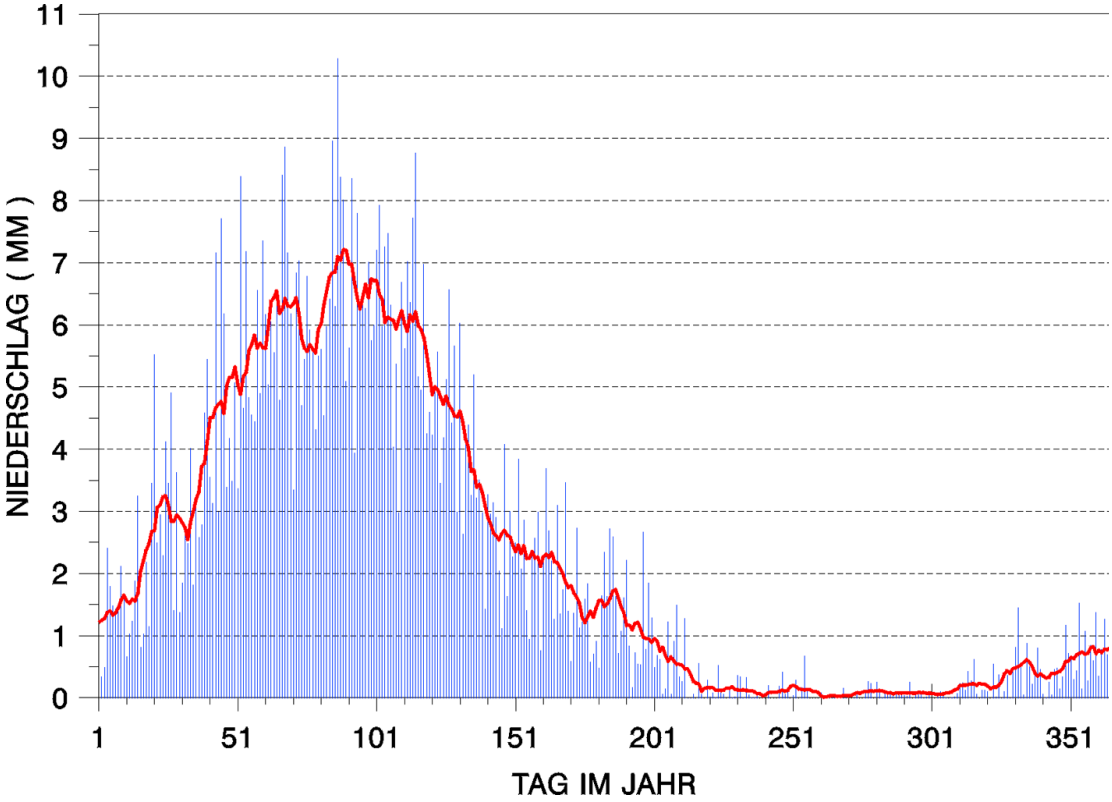


Abb. 4.1.1.3: Mittlerer Jahresgang des Niederschlags, Cedro 1921 – 1980

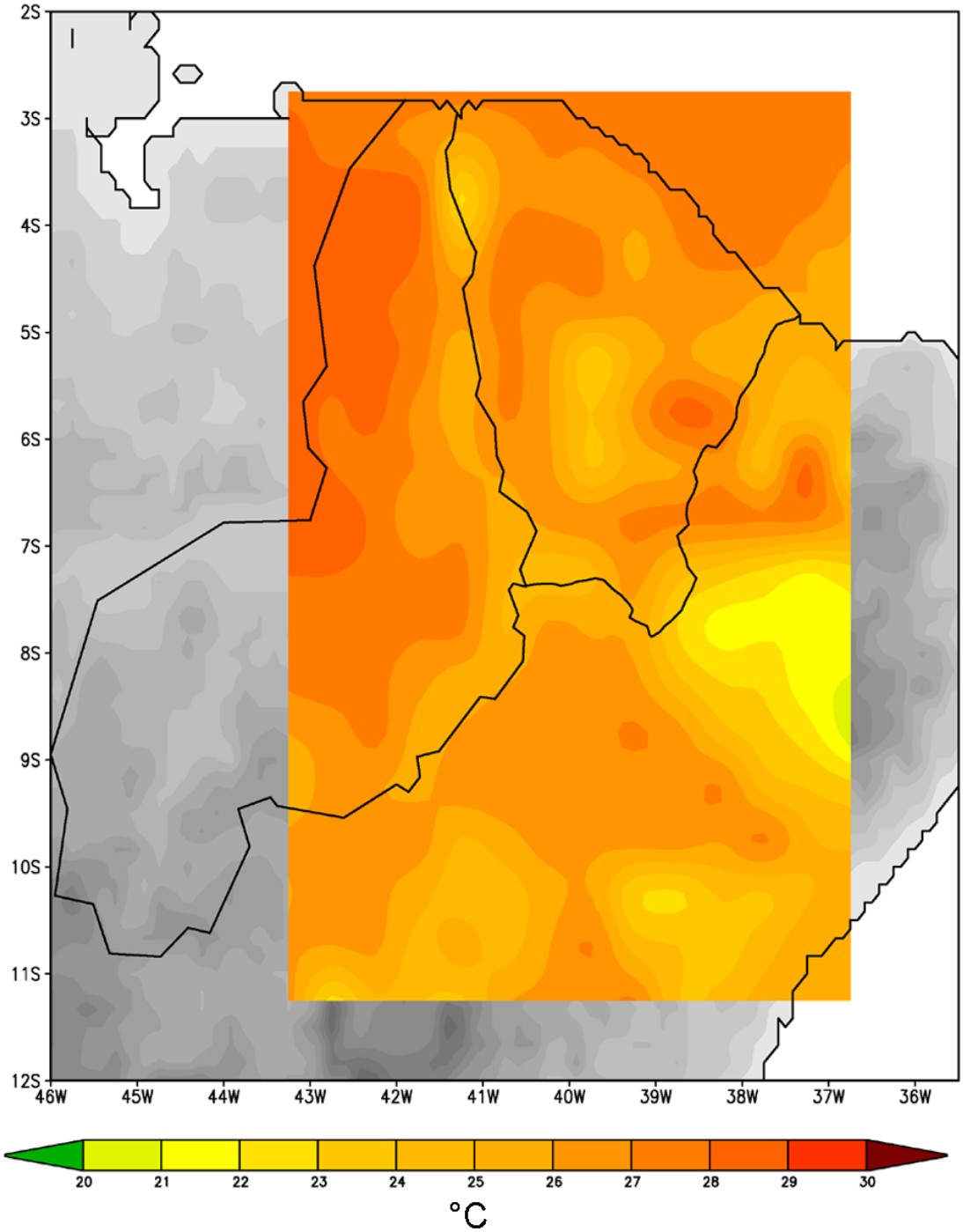


Abb. 4.1.1.4: Räumliche Verteilung des Jahresmittels der Lufttemperatur in Nordostbrasilien, 1921 - 1980

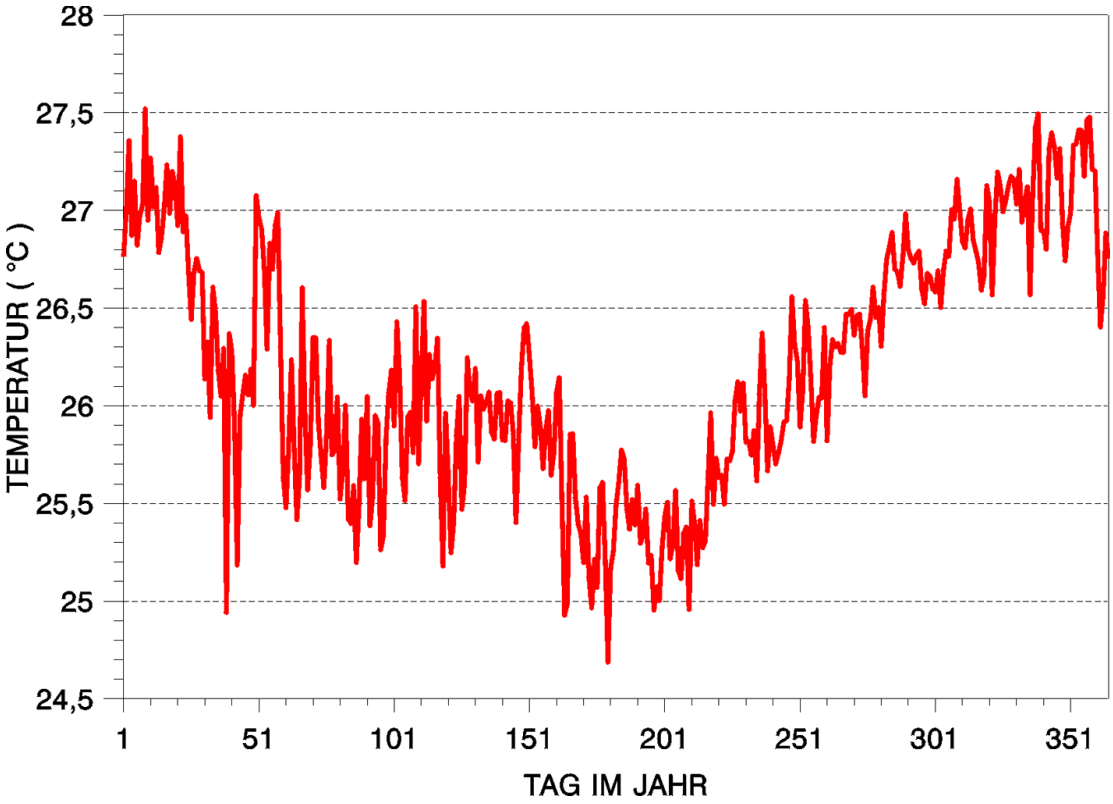


Abb. 4.1.1.5: Mittlerer Jahresgang der Lufttemperatur, Cedro 1921 – 1980

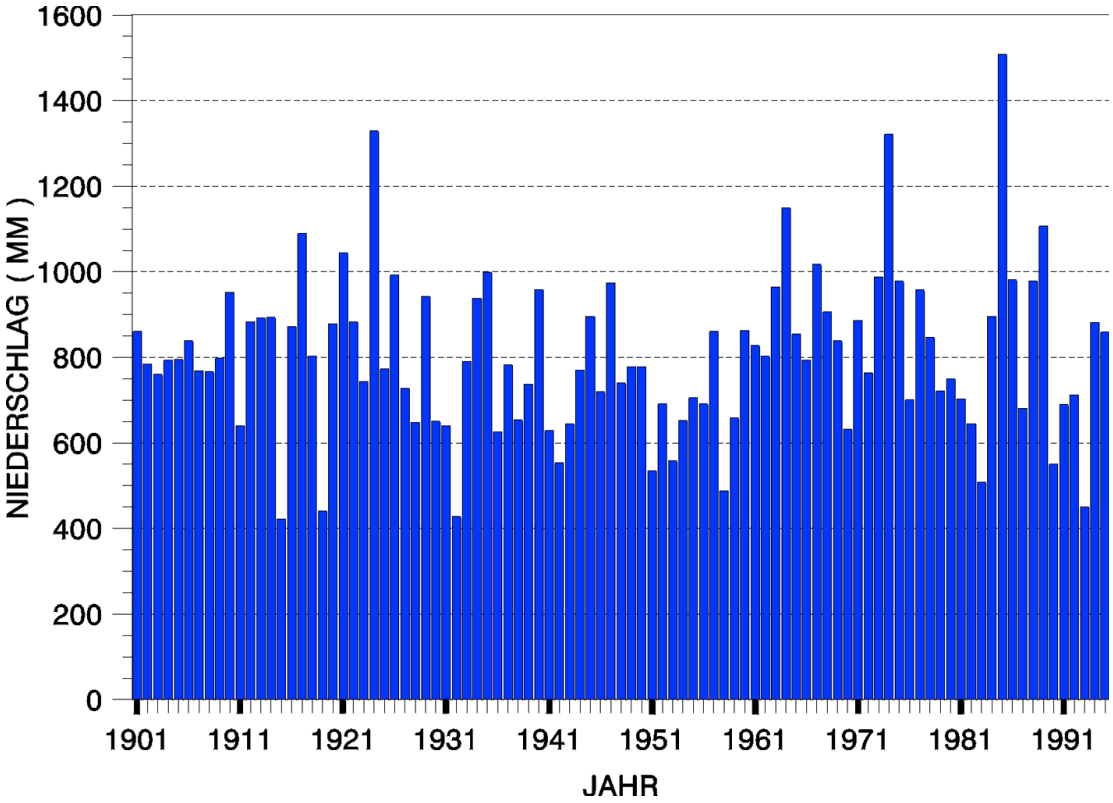


Abb. 4.1.1.6: Gebietsmittel der Jahressummen des Niederschlags in Nordostbrasilien, 1901 - 1995

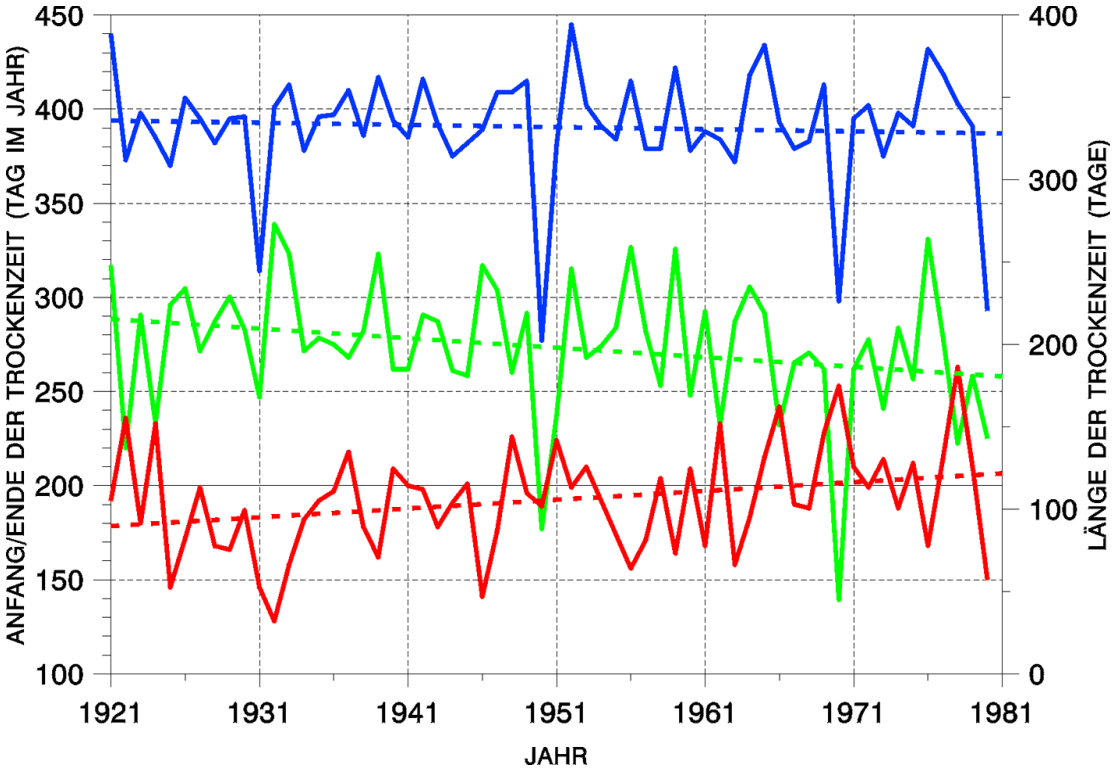


Abb. 4.1.1.7: Anfang (rot), Ende (blau) und Länge (grün) der Trockenzeit, 1901 – 1995
Cedro 1921 – 1980

4.1.2 Wasser

Wasserrechtliche Rahmenbedingungen

Gesetzliche Grundlage des Umganges mit der Ressource Wasser in Brasilien ist das brasilianische Wassergesetz 9.433 vom 8.1.1997. Es enthält folgende Prinzipien: Wasser ist ein öffentliches Gut; Wasser ist eine begrenzte Ressource und hat einen ökonomischen Wert. In Situationen der Wasserknappheit hat die Versorgung von Mensch und Tier Priorität. Eine multiple Nutzung des Wassers soll jederzeit durch effektives Wassermanagement gewährleistet werden. Wassermanagement soll dezentralisiert in den jeweiligen Wassereinzugsgebieten unter Partizipation von Regierung, Nutzern und Gemeinden erfolgen. Hauptziele des Gesetzes sind es, allen einen Zugang zu Wasser zu gewähren sowie die Qualität und Quantität der Ressource bei Nutzung durch Kontrollen sicherzustellen. Das Bundesgesetz propagiert eine komplementierende Gesetzgebung der einzelnen Bundesstaaten, um regionalen Besonderheiten gerecht zu werden. Während in Piauí derzeit dem Parlament der Gesetzesentwurf für ein bundesstaatliches Gesetz zur Abstimmung vorliegt, hat der Staat Ceará bereits seit 1992 ein eigenes Wassergesetz. Die Exekutive ist in Piauí noch im Aufbau begriffen. In Ceará koordiniert das Wasserministerium SRH (Secretaria dos Recursos Hídricos) bereits ein Netz von Institutionen, die für unterschiedliche Aspekte des Wassermanagements zuständig sind.

Wasserverfügbarkeit

Ceará und große Teile Piauís sind der semi-ariden Klimazone zuzurechnen. Die Küstenzone und höherliegende Bergregionen weisen höhere Jahresniederschläge auf als das Landesinnere (Sertão). Die westlichen Teile von Piauí befinden sich bereits im Übergangsbereich zur humiden Amazonasregion. Die Jahressummen der Niederschläge von Piauí sind somit im langjährigen Mittel höher als die von Ceará (Tab. 4.1.2.1). Beide Bundesstaaten sind durch ein großes Verhältnis zwischen jährlicher potentieller Verdunstung und Niederschlag gekennzeichnet. Dies hebt die große Bedeutung der Verdunstung als limitierenden Faktor für die Verfügbarkeit von Wasser hervor. Der zum Abfluss gelangende Anteil des Niederschlag ist gemäss der Ergebnisse des großskaligen Wasserhaushaltsmodell HYMO-WA im Jahresmittel in Ceará mit 16,9% größer als in Piauí (8,4%). Die reale Evapotranspiration und die Grundwasserneubildung weisen hingegen in Piauí höhere Werte auf als in Ceará. Diese Ergebnisse sind überwiegend begründet durch die unterschiedlichen Bodeneigenschaften des sedimentären Ausgangsgestein in Piauí im Vergleich zu den zumeist kristallinen Gebieten Cearás (80% der Landesfläche). Die größere Mächtigkeit der Böden in Piauí erweitert den Wurzelraum der Vegetation und erhöht somit die Verdunstung, wobei aufgrund der höheren Durchlässigkeit und der höheren Niederschläge dennoch die Grundwasserneubildung über den Werten von Ceará liegt. Die Modellergebnisse in den Fokusregionen auf der Mesoskala heben diese Unterschiede noch deutlicher hervor (Tab. 4.1.2.1). Das Fokusgebiet Picos in Piauí ist am östlichen Rand des mit bis zu 1000 m mächtigen Sedimenten gefüllten Maranhão-Beckens gelegen. Es ist charakteristisch für Piauí hydrogeologisch geprägt durch Sandstein-Grundwasserleiter sowie tiefgründige Böden. Die Bildung von Oberflächenabfluss ist sehr gering, aufgrund der hohen Verdunstung und der vergleichsweise geringen Niederschläge ist die Grundwasserneubildung geringer als im Landesdurchschnitt. Das Fokusgebiet Tauá in Ceará liegt geologisch im Bereich des präkambrischen kristallinen Sockels auf dem sich nur geringmächtige Böden ausbilden. Somit werden nach einer schnellen Wassersättigung der Böden größere Mengen von Oberflächenabfluss gebildet. Die Neubildung von Grundwasser im Festgesteinsbereich ist äußerst gering.

Abbildung 4.1.2.1a zeigt die räumliche Verteilung des mittleren jährlichen Abflusses, der innerhalb eines jeden Munizips gebildet wird. Das räumliche Muster spiegelt zum einen die unter-

schiedlichen Infiltrationseigenschaften der Böden im Kristallin bzw. im Sedimentgebiet wider, mit höheren Werten der Bildung von Oberflächenabfluss in weiten Bereichen Cearás. Dieses Muster wird überlagert von der Niederschlagsverteilung, mit beispielsweise einer höheren Wasserverfügbarkeit in den feuchteren Regionen im (Nord-)Westen Piauís, sowie einer Abnahme innerhalb des Kristallingebietes mit zunehmender Entfernung von der Küste ins Landesinnere Cearás. Trotz vergleichsweise hoher Niederschläge besitzen jedoch die meisten direkt an der Küste liegenden Munizipien eine geringe Verfügbarkeit von Oberflächenwasser aufgrund der durchlässigen Böden. Wird zusätzlich die über das Gewässernetz einem jeden Munizip zufließende Wassermenge berücksichtigt (Abb. 4.1.2.1b) treten Bänder höherer Wasserverfügbarkeit entlang der großen Flüsse (v.a. Jaguaribe, Parnaíba) im räumlichen Muster hervor. Dieser Verteilung liegt die hypothetische Annahme zu Grunde, dass oberstrom eines jeden Munizips keine Wasserentnahme stattfindet. Der Vergleich beider Darstellungen belegt die große Bedeutung des Zuflusses über das Gewässernetz für die Wasserverfügbarkeit in einzelnen Munizipien. Werden diese zusätzlichen Ressourcen genutzt, können im jeweiligen Munizip im Falle einer oberstromigen Wasserentnahme entsprechend starke Restriktionen in der Verfügbarkeit auftreten. Beispielhaft für diese Situation ist der Fluss Guaribas im Fokusgebiet Picos, dem im Messjahr 1998 im Munizip Bocaina aus dem dort liegenden Bocaina-Stausee etwa 0,45 m³/s zugeflossen sind. Auf der folgenden Flussstrecke durch die Munizipien Bocaina und Sussuapara wurde die Hälfte dieses Abflusses zur Bewässerung entnommen. Die andere Hälfte wurde im stromab folgenden Munizip Picos entnommen, so dass während der Trockenzeit kein Abfluss das nächstfolgende Munizip erreichte. In Ceará beträgt der Verlust von Flusswasser durch Infiltration ins Flussbett und Verdunstung bis zu 5% des Abflusses auf 10 km Fließlänge (Araújo & Ribeiro, 1996). Für den im Fokusgebiet Picos genauer betrachteten Fluss Guaribas wurde eine Verdunstung von kleiner 1% abgeleitet sowie aufgrund der hydrogeologischen Situation eine Exfiltration von Grundwasser in den Fluss.

Tab. 4.1.2.1: Mittlere jährliche Werte [mm/a] für Komponenten des Wasserkreislaufs und der Wassernutzung für Ceará, Piauí und die Fokusgebiete.

[mm/a]	Ceará	Piauí	Tauá	Picos
Niederschlag [a]	910	925	741	671
potentielle Verdunstung [b]	2164	2327	2255	2312
reale Evapotranspiration [b]	708	856	595	655
Grundwasserneubildung [b]	48	69	1	12
Abfluss [b]	154	78	145	4
Wasserentnahme / konsumptive Wassernutzung [c]	5,21 / 2,55	1,39 / 0,73	0,98 / 0,70	7,42 / 3,59
Bewässerung	2,67 / 1,60	0,61 / 0,37	0,00 / 0,00	4,06 / 2,44
Tiere	0,56 / 0,56	0,26 / 0,26	0,63 / 0,63	0,60 / 0,60
Haushalte	1,55 / 0,31	0,49 / 0,10	0,35 / 0,07	2,63 / 0,53
Industrie	0,32 / 0,06	0,02 / 0,00	0,00 / 0,00	0,11 / 0,02
Tourismus	0,11 / 0,02	0,01 / 0,00	0,00 / 0,00	0,02 / 0,00

(a) Historische Rekonstruktion AG Klimaanalyse, Periode 1921-1980, (b) Modellierung mit dem großskaligen hydrologischen Modell HYMO-WA, Periode 1921-1980, (c) Berechnungen mit dem großskaligen Wassernutzungsmodell NoWUM für 1996-98, Bewässerung 1951-1980

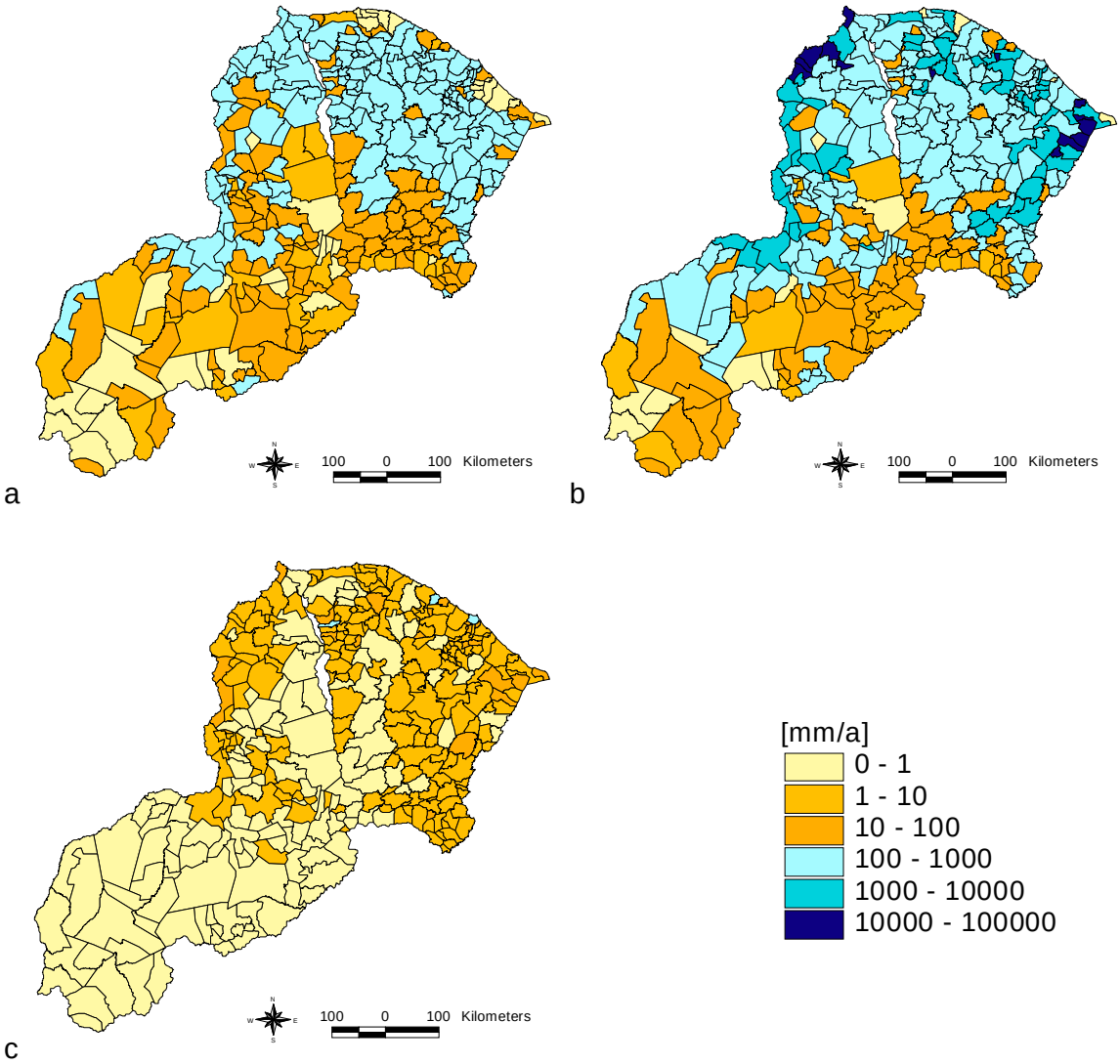


Abb. 4.1.2.1: Mittlerer jährlicher Abfluss der Munizipien [mm/a], (a) ohne Berücksichtigung der Zuleitung aus höher gelegenen Munizipien über das Gewässernetz, (b) mit Berücksichtigung der Zuleitung aus höher gelegenen Munizipien über das Gewässernetz (Zuflüsse im Parnaíba-Einzugsgebiet aus Maranhão werden nicht berücksichtigt), (c) Gesamtwasserentnahme 1996-98 [mm/a]. (a),(b) simuliert mit dem großskaligen hydrologischen Modell HYMO-WA für die Periode 1921-1980, (c) berechnet mit dem großskaligen Wassernutzungsmodell NoWUM.

Wassernutzung

In Ceará ist 90% des genutzten Wassers Oberflächenwasser, da ergiebigere sedimentäre Grundwasserleiter nur auf 20% der Fläche Cearás (an der Küste, in der Cariri und im mittleren Jaguaribetal) verbreitet sind. In Piauí besteht fast überall der Zugang zu qualitativ gutem Grundwasser, wenn auch teilweise erst in Tiefen, die Brunnenbohrungen mit entsprechend hohen Kosten erfordern. Die Wasserversorgung der piauiensischen Städte erfolgt fast vollständig mit Grundwasser; wenige Städte, die z.B. am Parnaíba liegen, nutzen zusätzlich Flusswasser. In Ceará werden nur wenige Städte an der Küste und in der Cariri ausschließlich mit Grundwasser versorgt. Die ländliche Bevölkerung nutzt alle ihr zur Verfügung stehenden Quellen (Grund-, Oberflächen- und in Zisternen gesammeltes Regenwasser), teilweise saisonal alternierend. Bewässerungswasser in Ceará ist Oberflächen- und Alluvialwasser; die Nutzung von kristallinem Grundwasser ist hierfür zu teuer. Im Norden Piauís wird überwiegend mit Fluss, Stausee- und Lagunenwässern, im Süden mit Grundwasser bewässert. In beiden Bundesstaa-

ten bezieht die Industrie das Wasser entweder von der öffentlichen Wasserversorgung oder aus eigenen Brunnen.
Detaillierte Zahlen zur Wasserentnahme und konsumptiven Wassernutzung 1997 in den verschiedenen Nutzungssektoren liegen, räumlich differenziert, erstmalig durch die Berechnungen mit dem Modell NoWUM für die beiden Bundesstaaten vor. Insgesamt ist der Wasserbedarf Cearás viermal so hoch wie der Piauís. Auf gesamtstaatlicher Ebene dominieren in beiden Staaten die Bewässerung und nachfolgend die Versorgung der Haushalte die Wasserentnahme (Tab. 4.1.2.1). An dritter Stelle steht die Entnahme für die Viehbestände, die prozentual in Piauí bedeutsamer ist als in Ceará. Die konsumptive Wassernutzung der Viehbestände ist dagegen die zweithöchste nach der Bewässerung. Industrie und Tourismus spielen eine untergeordnete Rolle in der gesamtstaatlichen Wassernutzungsbilanz. Allerdings konzentrieren sich diese beiden Sektoren auf bestimmte Munizipien und erreichen dort eine deutlich höhere Bedeutung, z.B. in den Küstenmunizipien. Abbildung 4.1.2.1c zeigt die räumliche Verteilung der jährlichen absoluten Wasserentnahme für 1997 auf der Skala der 332 Munizipien; sie fasst die Entnahme aller Sektoren pro Munizip zusammen. Die höchsten Werte treten in den urbanen Ballungszentren wie Fortaleza, Crato, Teresina, Parnaíba sowie in Munizipien mit großen Bewässerungsflächen (Litoral, Jaguaribetal, Cariri, Serra de Ibiapaba) auf**.**

Wasserknappheit

Der Nordosten Brasiliens zeichnet sich durch eine geographisch und zeitlich unregelmäßige Verteilung seiner Wasserressourcen aus. Ceará wird als Wassermangelgebiet ausgewiesen. Mit der hier vorliegenden Abschätzung der Wassernutzung in Bezug zur Oberflächenwasserverfügbarkeit lassen sich von Wasserknappheit besonders betroffene Gebiete in den beiden Bundesstaaten aufzeigen. Das in Abbildung 4.1.2.2a dargestellte Verhältnis zwischen der mittleren jährlichen Verfügbarkeit und der gesamten Wasserentnahme 1997 zeigt nur in wenigen Munizipien Restriktionen. Bei dieser Darstellung wird jedoch die zeitliche Verteilung der Verfügbarkeit über das Jahr vernachlässigt. Ein großer Teil der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet fließen periodisch. Der Vergleich der Wassernutzung mit der natürlichen Wasserverfügbarkeit in einem Monat der Trockenzeit (Abb. 4.1.2.2b) zeigt, dass die Wasserentnahme die Verfügbarkeit in den meisten Munizipien übersteigt. Die Wasserversorgung ist somit auf Wasser aus größeren Stauseen, das während der Regenzeit gespeichert wurde, und auf Grundwasserverfügbarkeit oft aus größerer Entfernung angewiesen. Beobachtungen vor Ort zeigen entsprechend, dass die ländliche Bevölkerung in der Trockenzeit mit Wasser aus Tankwagen (carro pipa) versorgt wird. In Ceará werden jährlich in bis zu 47% der Munizipien Wassertankwagen eingesetzt, u.a. regelmäßig in Tauá.

Die Auswirkung der interannuellen Variabilität der Wasserverfügbarkeit zeigt der Vergleich der durchschnittlichen Situation (Abb. 4.1.2.2a) mit der eines typischen Trockenjahres (Abb. 4.1.2.2c). Hierfür beispielhaft wurde das Jahr 1970 ausgewählt, dessen Jahresniederschlag auf gesamtstaatlicher Skale der siebtgeringste in der Periode 1921-1980 war. In einer großen Zahl von Munizipien kann im Trockenjahr der jährliche Wasserbedarf nicht durch die Verfügbarkeit an Oberflächenwasser gedeckt werden, wenn keine Einschränkungen in der Wasserentnahme vorgenommen werden. Auffallend im räumlichen Muster ist das Wasserdefizit insbesondere für die in Flussgebieten hochliegenden Munizipien ohne oberstromigen Zufluss und für das Landesinnere Cearás (Sertão). In Tauá führte dies 1999 dazu, dass auch die Stadtbevölkerung mit Tankwagen beliefert werden musste. Extreme Dürren forderten in der Vergangenheit außergewöhnliche Maßnahmen: so wurde 1993 innerhalb von drei Monaten der „Canal do Trabalhador“ errichtet, der den Jaguaribe mit dem Stauseesystem Fortalezas verbindet. Mit Wasser, welches aus dem Orós-Stausee abgelassen wurde, konnten somit die 2,6 Mio. Bewohner des Großraumes Fortaleza versorgt werden.

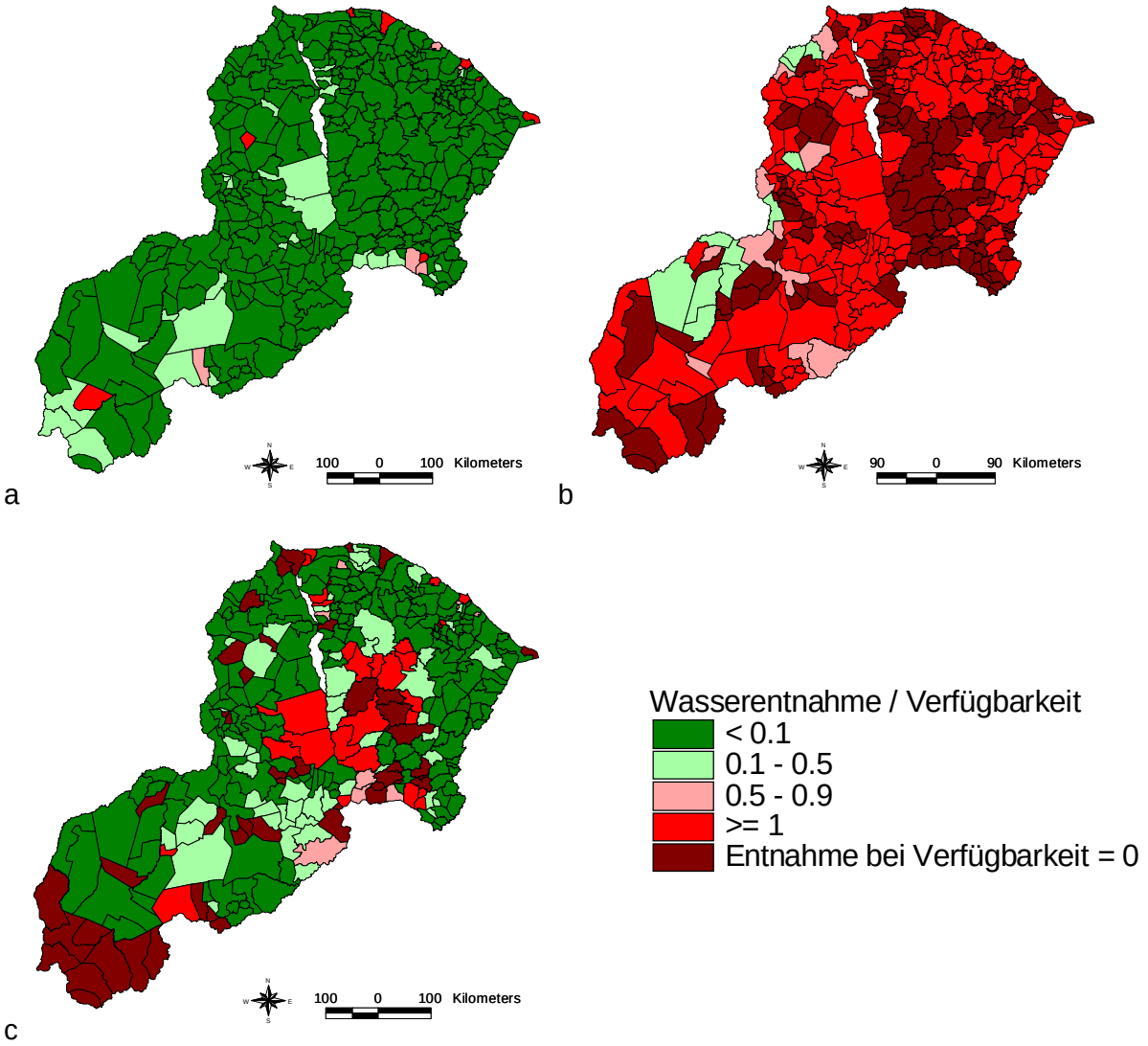


Abb. 4.1.2.2: Verhältnis zwischen natürlicher Wasserverfügbarkeit (Oberflächenabfluss) (berechnet mit HYMO-WA) und Wasserentnahme (berechnet mit NoWUM), (a) Jahreswerte (Wasserverfügbarkeit Periode 1951-1980, Wasserentnahme 1996-98, Bewässerung Mittelwert aus 1951-1980), Monatswerte September (b), Jahreswerte im Trockenjahr 1970 (c).

Es ist zu berücksichtigen, dass in den sedimentären Gebieten Piauís ein großer Teil des Wasserbedarfs durch Grundwasserentnahmen gedeckt wird. Dies wird deutlich an den Zahlen für das Munizip Picos (Tab. 4.1.2.1), dessen Wasserentnahme die natürliche Verfügbarkeit von Oberflächenwasser übersteigt. Ob die Nutzung von Grundwasser überall nachhaltig ist, d.h. langfristig die Entnahme nicht die Neubildung überschreitet, lässt sich nicht genau sagen, da die lokalen Grundwasserneubildungsraten unbekannt sind. Unter Verwendung der im PERH (SRH, 1992) abgeschätzten jährlich neugebildeten Grundwassermengen ergibt sich rein rechnerisch in drei von elf Wassereinzugsgebieten Cearás bereits eine Übernutzung, wollte man lediglich die heutige ländliche Bevölkerung mit einem Grundbedarf von 50 l/p/d damit versorgen.

Wasserinfrastruktur

In der Vergangenheit wurde dem steigenden Wasserbedarf (Bevölkerungswachstum, Ausdehnung der Bewässerungsflächen, Wachstum der Industrie und des Tourismus) durch Ausbau der Wasserinfrastruktur Rechnung getragen. Die beiden staatlichen Organisationen DNOCS und SUDENE, speziell für die Förderung und Entwicklung des Nordostens gegründet, waren

seit den 50er Jahren mit dem verstärkten Bau von Stauseen und der Bohrung von über 50.000 Brunnen im gesamten Nordosten in den 60er Jahren betraut. Anfang der 70er wurde mit der Errichtung großer Bewässerungsprojekte begonnen.

Heute gibt es 37 Stauseen mit mehr als 50 Mio. m³ Speichervolumen in Ceará und 5 in Piauí und zudem mehrere Tausend kleine Açudes (Tab. 4.1.2.2). Die Zahl der Açudes ist aufgrund der klimatischen und der geologischen Voraussetzungen in Ceará größer als in Piauí. Bei allen Stauseen bestehen große Verlustraten durch die hohe potentielle Evapotranspiration von 2000 bis 2500 mm/a. Bei großen Stauseen liegt der Verlust zwischen 30 und 40% des jährlich zufließenden Wassers, bei kleineren flachen Stauseen noch höher. Der für den in einem relativ tiefen, schmalen Tal angelegten Bocaina-Stausee ermittelte Verdunstungsverlust beträgt 30%. Für den Stausee Trici bei Tauá wurde anhand des Mineralisationsverlaufs eine Verdunstung von 70% abgeleitet.

In Ceará existieren fast doppelt so viele Brunnen wie in Piauí; allerdings sind nur 57% der cearensischen, aber 86% der piauiensischen Brunnen in Betrieb (Tab. 4.1.2.2). In Piauí überwiegen Tiefbrunnen. Für Ceará sind daneben auch Flachbrunnen (poços amazonas) typisch, die in den bis zu 30 m mächtigen Talsedimenten entlang der Flussläufe angelegt sind. Sie ermöglichen nur eine geringe Entnahme, sind aber aufgrund der einfachen Fördertechnik zu 87% in Betrieb. 45% der cearensischen Tiefbrunnen wurden aufgegeben; auch viele der aktiven Tiefbrunnen haben erhöhte Salzgehalte. Wie viel Grundwasser tatsächlich gefördert wird, ist nicht ermittelbar, da nur wenige Aufzeichnungen über die Entnahmen vorhanden sind.
Große Unsicherheit besteht über die jeweilige Größe der Bewässerungsflächen, da in keinem der beiden Bundesstaaten bislang ein flächendeckendes Nutzerkataster erstellt wurde. Zudem ändert sich die Größe und Zusammensetzung der Bewässerungsfläche jährlich. Die in Tabelle 4.1.2.2 angegebenen Flächen spiegeln die Einschätzung von Experten in Ceará und Piauí wider. Sie sind deutlich kleiner als die Angaben im Agrarzensus 1995/96 (IBGE, 1998a): in Ceará um Faktor 2,6 und in Piauí um Faktor 1,4.

Tab. 4.1.2.2: Quantifizierung der Wasserinfrastruktur auf bundesstaatlicher und Fokusgebietsebene 1997.

	Ceará	Piauí	Tauá	Picos
Gesamtvolumen aller Stauseen (10^9 m³)	11,6	6,0		
Anzahl großer Stauseen (Stauvolumen > 50 Mio. m³)	37	5		
mittlere Anzahl von Stauseen je 1000 km²	47.7	0.7		
Anzahl vorhandener Brunnen	13300	7040 (ohne priv. Brunnen)	385	800
Anzahl aktiver Brunnen	7581	6080		600
potentielle GW-Entnahme [10^6 m³/a]		272	2	21
Anschluss der Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung [%]	46	54	33	63
Anschluss der urbanen Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung [%]	66	93	69	100
Anschluss der Bevölkerung an die Kanalisation [%]	20	2	0	2
Bewässerungsfläche [ha]	43096	13170	0	613

[Daten aus unterschiedlichen Quellen.]

Die öffentliche Wasserversorgung versorgt fast ausschließlich die Bewohner der Muniziphauptstädte. In ländlichen Gebieten fehlt fast immer eine sichere Wasserversorgung. 1997 waren 54% der piauiensischen Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen und hatten eine Durchschnittsverbrauch von 94 l/p/d, in Ceará betrug der Anschlussgrad

zum gleichen Zeitpunkt 46% bei 135 l/p/d (Tab. 4.1.2.2). Gegenwärtig sind 20% der Bevölkerung in Ceará und 2% in Piauí an eine Kanalisation angeschlossen. Der größte Teil der Abwässer fließt ungeklärt in die Gewässer. Für 15 der größeren Städte in Ceará laufen die Genehmigungsverfahren für Kläranlagen bei der Umweltbehörde. Das Betreiben, die Unterhaltung und Ausdehnung von Wasserinfrastruktur ist allem voran eine Kostenfrage. Die Einrichtung eines Wasser- und Abwasseranschlusses kostet heute etwa 1000 R$/Familie. Die mittleren Kosten (Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten) im Jahr 1999 in Ceará für Stauseewasser belaufen sich auf 64 R$/1000 m³ und 68 R$/1000 m³ für wiedergenutztes Wasser, welches in Stabilisationsbecken aufbereitet wurde (1,90 R$ = 1 U$). Die Kosten von Brunnen im Sediment betragen 63 R$/1000 m³ und 88 R$/1000 m³ für Brunnen im Kristallin, Ursache der Differenz hier sind die höheren Investitionskosten für Brunnen im Kristallin (Kosten wurden erhoben vom brasilianischen WAVES-Teilprojekt zu Wasserkosten, Prof. de Araújo).

Wasserqualität

Aufgrund der natürlichen hydrochemischen Beschaffenheit des Wassers ist das Grund- und Oberflächenwasser in Piauí weitgehend ohne Einschränkungen nutzbar, soweit keine anthropogenen Beeinflussungen vorhanden sind. In Ceará hingegen weisen Stauseewässer und Grundwässer mit nur geringen Umsätzen durch hohe Verdunstungsraten und geochemische Wechselwirkungen mit dem umgebenen Substrat häufig hohe Mineralstoffgehalte auf (Abb. 4.1.2.3).

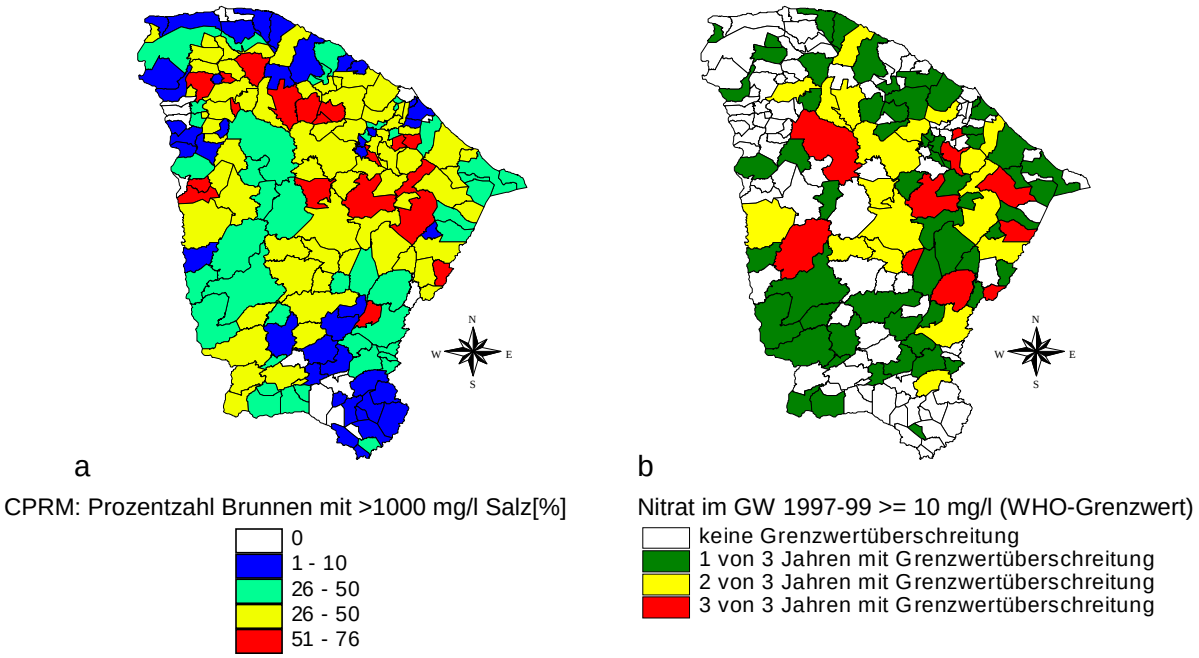


Abb. 4.1.2.3: Grundwasserqualität in Ceará im Zeitrum 1997-1999: Salzgehalt (a), Nitrat (b).

Eine Verminderung der Wasserqualität geschieht im ländlichen Bereich durch den punktuellen Eintrag von häuslichen Abwässern, Viehausscheidungen und den diffusen Eintrag von Agrochemikalien bei intensiver Bewässerungslandwirtschaft. Im Bereich der größeren Städte beeinflussen vor allem unkontrolliert zufließende Abwässer aus Haushalten, Industrie, Gewerbe und Deponien die Wasserqualität. Für die starke Eutrophierung z.B. des Stausees Sarasate in Ceará sind Viehausscheidungen ursächlich. Im Rahmen der von WAVES durchgeführten Untersuchungen wurden Agrochemikalien weder in den Fokusgebieten noch im Jaguaribetal nachgewiesen. Am verbreitetsten ist die Verschlechterung der Oberflächenwasserqualität durch die Einleitung häuslicher Abwässer. Mit ihnen werden Krankheitserreger, organische Verbindungen und Nährstoffe eingetragen. Eigene und von der DHME (PI) durchgeführte Untersuchungen

zeigen, dass die Oberflächenwässer in Picos meist mehr als 2400 koliforme Keime pro 100 ml enthalten (WHO empfiehlt 10 Keime/100 ml), die Nitratgehalte liegen bei 10 mg/l. Dabei wurden saisonale Schwankungen aufgrund von Verdünnungseffekten während der Regenzeit oder durch den erhöhten Eintrag von Sickerwässern festgestellt. Die Grundwässer werden je nach Tiefenlage beeinträchtigt. Während die Wässer der Tiefbrunnen in Picos qualitativ einwandfrei sind, treten in Flachbrunnen in Tauá neben einer Verkeimung auch erhöhte Nitratgehalte auf (Abb. 4.1.2.3).

Ob und inwieweit die Wasserqualität die Wassernutzung einschränkt, hängt von der Information des Nutzers, seinen Alternativen und den Qualitätsansprüchen für die jeweilige Nutzung ab. So wird salziges Brunnenwasser in Tauá nicht als Trinkwasser aber als Viehtränke und zum Waschen verwendet. Im Raum Picos wird mit belastetem Flusswasser bewässert. Höchste Qualitätsansprüche werden ans Trinkwasser gestellt. Dabei entscheidet nicht nur die Rohwasserqualität, sondern auch die Art der Wasserversorgung (Verteilung, Desinfektion, Umgang und Unterhalt des Systems) über die hygienische Bedenklichkeit des Trinkwassers. In Picos besteht eine gute Rohwasserqualität, jedoch führt mangelhafter Umgang bei der Wasserverteilung zu massiven hygienischen Problemen. Im Gegensatz dazu wird in Tauá die schlechte Rohwasserqualität durch sorgfältige Aufbereitung und Kontrolle wettgemacht. Die hygienisch notwendige Desinfektion der Oberflächenwässer, wie sie in Tauá, aber auch in Teresina oder Fortaleza durchgeführt wird, führt aufgrund der organischen Inhaltsstoffe jedoch zur Bildung von Chlorkohlenwasserstoffen mit Konzentrationen bis zu 300 µg/l (WHO-Grenzwert: 25 µg/l).

Wassermanagement

Der Schwerpunkt des Wassermanagements liegt in beiden Bundesstaaten auf Erweiterung der Infrastruktur (Stauseebau, Ausbau der Wasserbereitstellung). Ein beginnendes Bedarfsmanagement zeigt sich in Ceará: Partizipation der Nutzer in Wassereinzugsgebietskommitees, Einrichtung von Nutzerkatastern sowie Vergabe von Wasserrechten. In beiden Bundesstaaten fehlt bislang eine systematische, flächendeckende Kontrolle der Wasserqualität sowie der Grundwasserentnahme.
Neben der klimatischen Ursache der Wasserknappheit spielt die Bewirtschaftung der Wasserressource eine erhebliche Bedeutung für die soziale und wirtschaftliche Entwicklung beider Bundesstaaten. Eine gezielte Bewirtschaftung mit entsprechenden Kontrollen findet bisher nur vereinzelt statt, was im Fall der Flusswasserentnahme zu sozialen Spannungen führen kann. Im Fall der Grundwasserentnahme sind Probleme durch Grundwasserabsenkung absehbar. In der Fokusregion Picos bedrohen Grundwasserabsenkungen von über 10 m die Entnahme aus flacheren Brunnen.

Das in Stauseen gespeicherte Wasser wird je nach Besitz, Zugänglichkeit und Management der Reservoire genutzt. In Ceará wird der Betrieb der großen Stauseen zentral von der COGERH geleitet. Rohwasser aus den Açudes wird direkt an Wasserwerke und großindustrielle Abnehmer verkauft. Priorität hat die Versorgung der Bevölkerung insbesondere im Großraum Fortaleza. Ein bestimmter Anteil des gespeicherten Wassers wird zur ganzjährigen Bereitstellung von Bewässerungswasser in einzelnen Flussabschnitten abgegeben. In Piauí besteht keine zentrale Verwaltung der großen Stauseen, die fast alle ursprünglich von der DNOCS geplant und gebaut wurden. Eine Studie ausgewählter Wasserprojekte in beiden Bundesstaaten kam zu dem Ergebnis, dass in der Vergangenheit eine mangelnde Absprache der Zuständigkeiten zwischen den bundesstaatliche Behörden und den Landesbehörden und die nicht geklärte Finanzierung der Folge- und Betriebskosten sowie nicht geklärte Eigentumsfragen die häufigsten Probleme beim Betrieb großer Stauseen und der damit verknüpften Bewässerungsprojekte waren. Dagegen waren die Planung der Anlagengröße und -lage sowie eine potentielle Nutzungsplanung meistens gut nachvollziehbar.

4.1.3 Naturraum und Landnutzung

Die Landnutzung stellt das Ergebnis der Wechselwirkung der anthropogenen (sozialen, ökonomischen) Systeme mit den verschiedenen Komponenten des Naturraums (Klima, Relief, Geologie, Boden, Wasser etc.) dar.

Geologie

Der Naturraum lässt sich grob gliedern nach den klimatischen und geologischen Gegebenheiten. Diese bestimmen wiederum die hydrologischen Eigenschaften des Gebiets. Geologisch gesehen können im Untersuchungsgebiet im wesentlichen zwei Bereiche unterschieden werden: zum einen der sedimentäre Bereich des Parnaíba-Beckens, welcher ca. 80% der Landesfläche Piauís ausmacht und leicht nach Westen auf den Grenzfluss Parnaíba zugeneigt ist sowie der kristalline Sockel, durch den der größte Teil der Landesfläche (80%) von Ceará geprägt ist. Im sedimentären Bereich entstand durch rückschreitende Erosion eine klassische Schichtstufenlandschaft mit Gebirgsketten (Serras) und Hochflächen (Chapadas) sowie zum Teil grundwassernahen Tälern. Der Südosten Piauís ist, ebenso wie Ceará, von kristallinem Grundgebirge geprägt, welches leicht gewellte Ebenen ausbildet, die durch einzelne Bergketten oder Inselberge unterbrochen sind.

Natürliche Vegetation

Der Anteil der natürlichen Vegetation (die z.T. als extensive Weide genutzt wird) ist in beiden Bundesstaaten erheblich (82,9% in Piauí und 93,3% in Ceará) (Tab. 4.1.3.1). Für die Differenzierung der Vegetation sowie entsprechende (xeromorphe) Anpassungsmechanismen ist bei einer potentiellen Evapotranspiration von 1500-2500 mm vor allem die Niederschlagshöhe, deren Verteilung sowie die Wasserhaltefähigkeit der Böden entscheidend. Zwei Vegetationstypen lassen sich im Projektgebiet unterscheiden: den ‚Cerrado' findet man überwiegend westlich des Flusses Gurguéia (Piauí), während der Trockenwald der ‚Caatinga' im kristallinen Bereich (z.B. in Ceará) vorherrschend ist (Abb. 4.1.3.1). Dazwischen (700-1000 mm Jahresniederschlag) befindet sich eine bislang vegetationskundlich schlecht definierte Übergangszone („Zona de transição"), in der auch Formen des „Floresta Estacional" zu finden sind In den Flusstälern sowie zu den niederschlagsreicheren Küstengebieten hin sind häufig hygrophile Wachspalmensavannen (Carnaúba-Palmen) eingestreut. Der Cerrado hat wegen der stark verwitterten Böden (mit hohem Anteil an freiem Aluminium) und den häufig auftretenden Waldbränden meist eine geringe Baumdichte und gedrehte Stammformen. Der hohe Unterwuchs an Gräsern gibt der straucharmen Baumsavanne während der Regenzeit einen parkartigen Aspekt. Die Caatinga („weißer Wald") in der Sprache der Ureinwohner wegen der Abwesenheit von Blättern in der Trockenperiode) wird von Gehölzen dominiert. Unterschieden werden mehr oder weniger dichte Baumformen bzw. Strauchformen der Caatinga. Quantifizierbare Aussagen zum Zusammenhang zwischen der Degradationswirkung anthropogener Nutzung (Brandrodung und Beweidung) und natürlichen Standortfaktoren sind bislang nicht möglich. Dafür fehlen bislang sowohl Konzepte einer potentiellen natürlichen Vegetation als auch ausreichende Erhebungen. Nachweisbar wandern jedoch z.B. Caatinga-Elemente in degradierten Gebieten klassischer Cerrado-Domäne ein.

Tab. 4.1.3.1: Anteile [%] der natürlichen Vegetation und ackerbaulich genutzter Flächen in den Bundesstaaten Piauí und Ceará

	Ceará	Piauí
Natürliche Vegetation	82,9	93,3
Ackerbaulich genutzte Fläche	15,9	6,6
Wasserfläche	0,2	<0,1
Versiegelte Fläche	1,0	<0,1

Quelle: Agrarzensus 1995/96 (IBGE, 1998a)

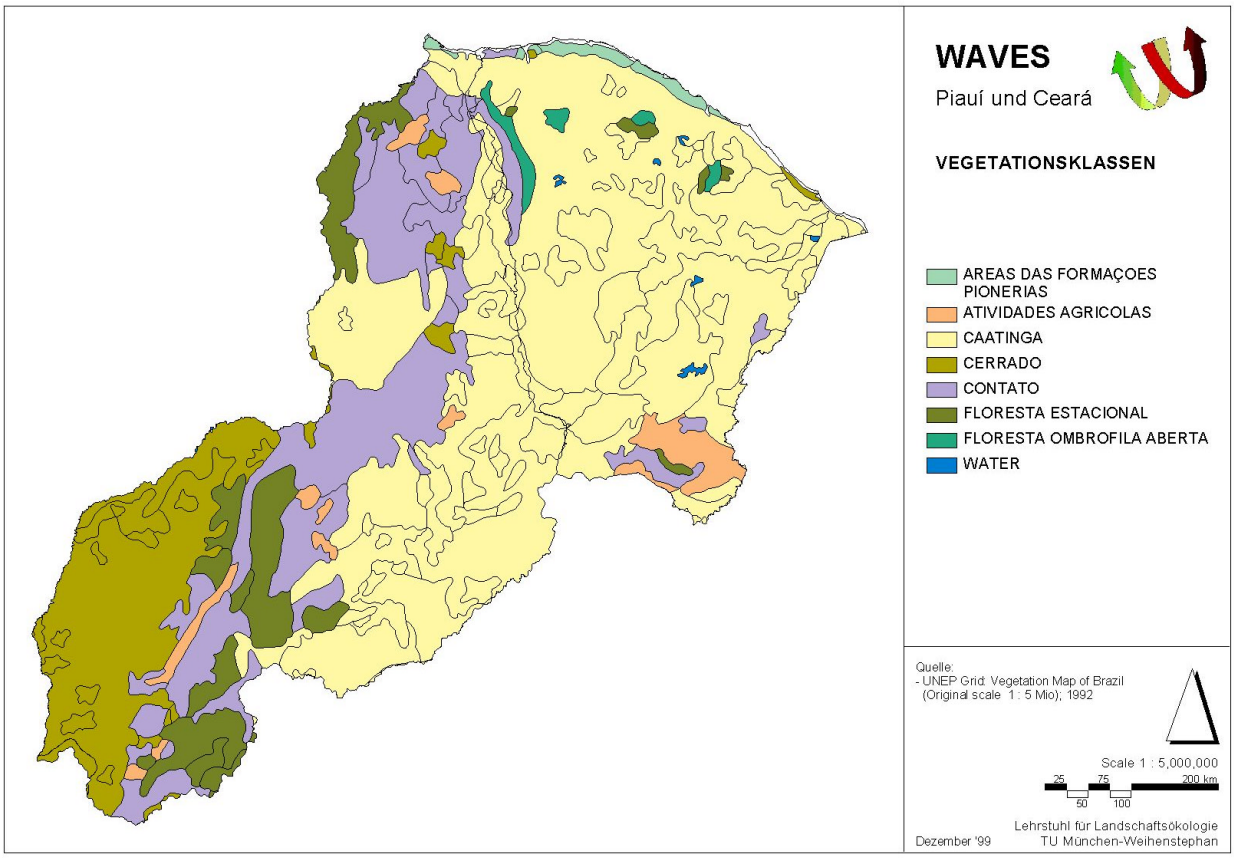


Abb. 4.1.3.1: Vegetationskarte des Untersuchungsgebietes

Landwirtschaft

Die Landwirtschaft in Piauí und Ceará ist geprägt durch den jährlichen Wechsel von Trockenzeit (je nach Region 6-10 Monate) und Regenzeit (2-6 Monate) sowie durch die hohe inter- und intraannuelle Variabilität der Niederschläge. Dies führte in der Vergangenheit dazu, dass weniger witterungsabhängige extensive Viehwirtschaft vorherrschte. Auf ackerbauliche Traditionen kann im Untersuchungsgebiet nur in Teilgebieten zurückgegriffen werden. In Piauí erfolgte die Kolonisation - für Brasilien ungewöhnlich - weitgehend vom Hinterland aus durch abgedrängte, bzw. expandierende extensive Viehwirtschaft (Rinder, Ziegen und Schafe). Wanderfeldwirtschaft bzw. Sammelwirtschaft war bis Mitte dieses Jahrhunderts die wichtigste wirtschaftliche Aktivität. Wichtigste Kulturpflanzen zur Selbstversorgung sind Cowpea (Vigna unguiculata), Maniok, Mais und Reis. In Ceará hingegen erlebte die Landwirtschaft in den zwanziger und dreißiger Jahren dieses Jahrhundert durch die wachsende Bevölkerung, die Zerstückelung der landwirtschaftlichen Betriebe durch Erbteilung und eine ständig steigende Viehdichte eine Futterkrise auf den Klein- und Mittelbetrieben. Dies führte zu einer Intensivierung des Ackerbaus

durch die Ausweitung des Baumwollanbaus (vorwiegend Gossypium hirsutum, „algodeiro mocó“) als Alternative zur extensiven Viehhaltung. Verstärkte Abholzungen und eine Erhöhung der Bodenpreise waren die Folge. Außerdem zog der Baumwollanbau eine schnelle Verbesserung der Infrastruktur, eine Intensivierung des Handels und die Ansiedlung von Textilindustrie an der Küste nach sich. Die Viehzucht in den Klein- und Mittelbetrieben wurde schrittweise intensiviert. In der Rinderhaltung wurde mit der Milch- und Käseerzeugung für den Markt begonnen.

Durch sinkende Bodenfruchtbarkeit (wegen Verkürzung der Brachephasen sowie verstärkte Bodenerosion) und das Auftreten des Baumwollkäfers kam es Ende der siebziger Jahre zu einem fast vollständigen Erliegen der Baumwollproduktion. Zur Zeit ist die landwirtschaftliche Nutzung in Piauí und Ceará im wesentlichen durch die standörtlichen Gegebenheiten (Bodeneigenschaften sowie Wasserverfügbarkeit durch Niederschlag, Oberflächen- und Grundwasser), die Infrastruktur (Marktzugang, Technisierungsgrad) und die sozio-ökonomischen Bedingungen (Erzeugerpreise, Landbesitz) bestimmt. Gemäss den klimatischen und geologischen Gegebenheiten lassen sich vier agroökologische Großregionen unterscheiden, die gleichzeitig auch unterschiedliche Infrastruktur und Bevölkerungsdichte aufweisen (Abb. 4.1.3.2, Tab. 4.1.3.2).

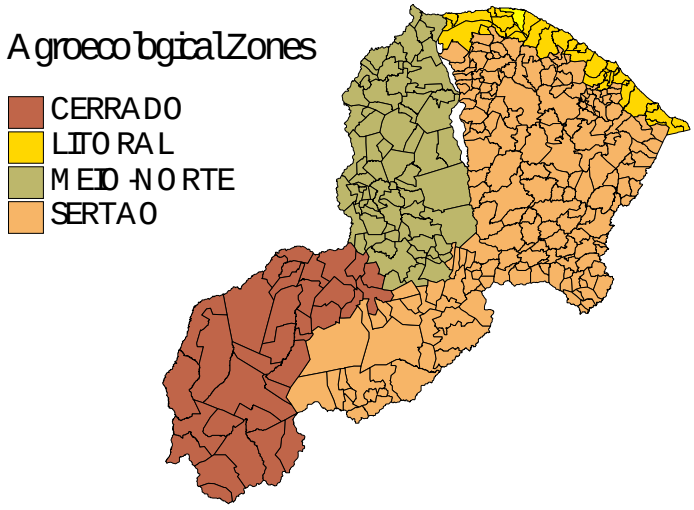


Abb. 4.1.3.2: Agroökologische Großregionen (Quelle: Adaptiert nach Beltrão und Lamour, 1985)

Tab. 4.1.3.2: Vergleich der vier agroökologischen Regionen anhand von ausgewählten Parametern

Großregion	Jahres-niederschlag	Geologie	Bevölkerungs-dichte (E/km2)	Infrastruktur
Litoral	1127	vorwiegend sedimentär	60.3	gut
Sertão	799	vorwiegend kristallin	22.9	mäßig
Meio-Norte	1231	sedimentär	15.6	mäßig
Cerrado	1121	sedimentär	4.6	schlecht

Der Küstenstreifen („Litoral“) weist mit durchschnittlich 1127 mm Jahresniederschlag und einer guten Infrastruktur sowie Marktnähe (höchste Bevölkerungsdichte) die besten Produktionsbedingungen auf, während die Sertãoregion mit durchschnittlich 800 mm Jahresniederschlag selbst bei relativ fruchtbaren Böden auf dem kristallinen Sockel die ungünstigsten standörtlichen Bedingungen besitzt. Die Cerradoregion im Südosten von Piauí verzeichnet zwar ebenso hohe Jahresniederschläge wie das Litoral, aber durch die in diesem Bereich vorherrschenden weniger fruchtbaren Böden, die schlechte Infrastruktur und die relative Marktferne sind die Produktionsbedingungen weniger günstig.

Innerhalb der vier Großregionen entwickelten sich in Abhängigkeit von Boden, Relief, Landbesitz, Know-how des Betriebsleiters und Verfügbarkeit von Bewässerungswasser eine Vielzahl von Betriebsformen mit unterschiedlichen Fruchtfolgen und Anbauintensitäten. Flächenmäßig bedeutendste Kulturen sind Mais, Bohnen, Cashew und Reis, wobei sich das Gewicht der einzelnen Kulturen von Großregion zu Großregion unterscheidet (Tab. 4.1.3.3). Je nach Betriebsform werden die Kulturen auf unterschiedlichem Intensitätsniveau angebaut. Die Intensität der Anbausysteme reicht von Wanderfeldbau (Brandrodung der Ackerflächen und zwei bis fünfjährigem Anbau ohne Einsatz von Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln gefolgt von einer je nach Region 3 bis 15 jährigen Brachephase) bis zu intensiven Bewässerungssystemen (Fertigation, Hochertragssorten, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln etc.) mit wassersparenden Bewässerungstechnologien (Tröpfchenbewässerung) (vgl. Kapitel 4.1.4). Der Anteil der Flächen unter natürlicher Vegetation (inkl. Bracheflächen > 4 Jahre) oder aufgeforstetem Wald betrug 1996 zwischen 60% (Litoral) und 90% (Cerrado).

Tab. 4.1.3.3: Anteil (%) der ökonomisch wichtigsten Kulturpflanzen in den vier Großregionen an der Erntefläche 1996

	Litoral	Sertão	Meio-Norte	Cerrado
Mais	8,6	36,7	31,3	28,2
Bohnen	8,4	31,2	19,6	12,8
Reis	0,7	3,7	23,0	41,3
Cashew	64,3	14,6	12,4	2,9
Maniok	5,7	2,3	7,0	3,3
Zuckerrohr	2,6	0,8	2,3	0,2
Kokospalme	5,6	0,1	0,1	0,0
Bananen	1,8	2,0	0,4	0,6
Futtergras	0,7	1,2	0,7	0,5
Baumwolle	0,0	1,5	0,1	0,2
Mango	0,4	0,2	0,3	0,2
Honigmelonen	0,2	0,0	0,1	0,0
Tomaten	0,0	0,2	0,0	0,0
Andere	1,0	5,5	2,7	9,8

Quelle: (IBGE, 1998a)

Die Eignung von Standorten für die einzelnen Kulturpflanzen hängt im Wesentlichen von folgenden Faktoren ab:

- Niederschlagsmenge und -verteilung
- Physikalische und chemische Bodeneigenschaften („Bodenqualität“)
- Anbauintensität („Management“)

Die **Niederschlagsmengen** und deren räumliche und zeitliche Variabilität im Gesamtgebiet wurden eingangs im Kapitel 4.1.1 (Klima) dargestellt. Diese wirken sich auf die Eignung der einzelnen Regionen für den Anbau von beispielsweise Cowpea und Mais unterschiedlich aus. Cowpea, als eine Kulturpflanze mit kurzer Vegetationsperiode und geringen Feuchteansprüchen, ist deutlich besser an die geringen Niederschläge in der Sertãoregion angepasst als Mais (Abb. 4.1.3.3).

Eine Analyse der interannuellen Variabilität des Klimaindex zeigt jedoch, dass auch die anderen drei Großregionen nur in wenigen Jahren für den Maisanbau geeignet sind. Die **Bodenausstattung** in den einzelnen Regionen und Munizipien als weiterer wichtiger Faktor ist räumlich ebenfalls sehr variabel. In den Bodenkarten von Piauí und Ceará werden insgesamt 321 Bodengesellschaften mit 46 Bodentypen und ca. 250 Subtypen ausgeschieden. Mit Hilfe des Boden-

informationssystems SPICE (Soil and Land Resource Information System for the States of Piauí and Ceará) kann man diese Vielzahl an Böden unterteilen z.B. in solche, die potentiell zur Bewässerung geeignet sind und in nicht zur Bewässerung geeignete (FAO 1979). Dabei ergibt sich beim momentanen Datenstand, dass die Munizipien in Piauí wegen des höheren Anteils an Böden mit guten Drainageeigenschaften, auch einen höheren Anteil an potentiell bewässerbaren Böden haben (Abb. 4.1.3.4). Im Hinblick auf den Anteil der Böden mit günstigen physikalischen und chemischen Eigenschaften für die pflanzliche Produktion scheint dagegen, wegen der im Durchschnitt höheren Basensättigung der Böden, der Anteil in der Sertão-Region und im äußersten Süden und Norden von Piauí (basische Ausgangsgesteine) höher zu sein (Abb. 4.1.3.5).

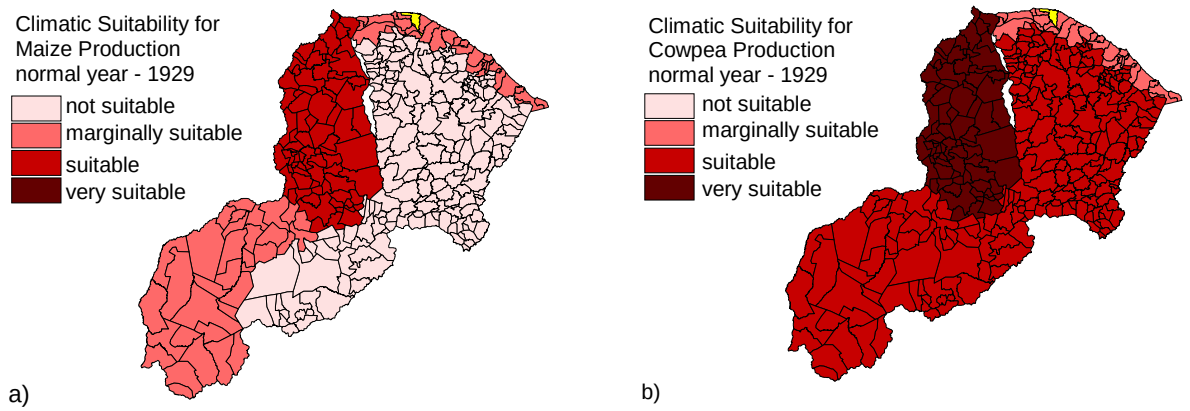


Abb. 4.1.3.3: Mittlere klimatische Eignung der vier agroökologischen Großregionen für den Mais- (a) bzw. Cowpea-Anbau (b) in Piauí und Ceará. Quelle: SPICE

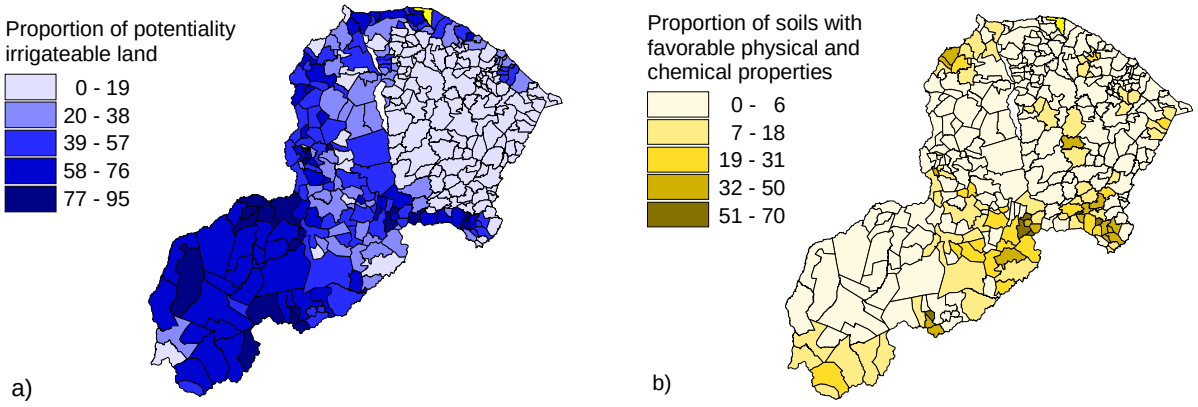


Abb. 4.1.3.4: Anteil der potentiell bewässerbaren Flächen (gut bis marginal geeignet) in % der Munizipfläche in den einzelnen Munizipien in Piauí und Ceará (vorläufige Klassifikation) (a). Anteil der Böden mit günstigen chemischen und physikalischen Eigenschaften für die pflanzliche Produktion in % der Munizipfläche in den einzelnen Munizipien (vorläufige Klassifikation) (b). Quelle: SPICE

Allerdings ist die Eignung von Böden zur pflanzlichen Produktion stark von der im Einzelfall anzubauenden Kulturpflanze abhängig, da es Pflanzen gibt, die an ungünstige bodenphysikalische oder bodenchemische Eigenschaften angepasst sind oder diese tolerieren. Anhand der Einschätzung der Nutzungseignung durch das Bodeninformationssystem SPICE ergibt sich z.B. dass sich die Anteile der potentiell für Maniokanbau bzw. für Reisanbau geeigneten Flächen in denselben Munizipien erheblich unterscheiden (Abb. 4.1.3.5).

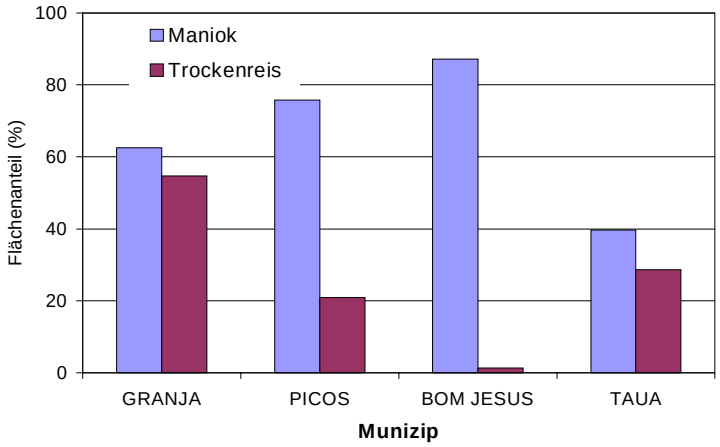


Abb. 4.1.3.5: Vergleich des Anteils der potentiell für Maniokanbau bzw. für Reisanbau geeigneten Flächen in einzelnen Munizipien in Piauí und Ceará. Quelle: SPICE

Neben der Niederschlagsmenge, der Niederschlagsverteilung und den Bodeneigenschaften beeinflusst das Management entscheidend die Eignung eines Standorts für eine bestimmte Kulturpflanze. Die Anbauintensität mit der eine Kultur angebaut wird, hängt ab von der Kulturpflanze, von der Kapitalausstattung des Betriebs, den Vermarktungsmöglichkeiten und vom Know-how des Betriebsleiters. Es können in einer Grobeinteilung fünf Intensitätsstufen unterschieden werden (vgl. Kap. 4.1.4):

- Regenfeldbau ohne Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln
- mechanisierter Regenfeldbau ohne Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln
- mechanisierter Regenfeldbau mit Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln
- Bewässerungsfeldbau mit geringem Einsatz an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln
- Bewässerungsfeldbau mit intensivem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmittel

Die Flächenerträge sind das Ergebnis der vielseitigen Wechselwirkungen zwischen Kulturpflanze, Management, Niederschlagssituation und Bodentyp. So kann eine NPK-Volldüngung je nach Bodentyp zu unterschiedlichen Ertragssteigerungen führen (Tab. 4.1.3.4)

Tab. 4.1.3.4: Ertragssteigerung bei Cowpea (in Mischanbau mit Mais) durch eine NPK-Düngung im Jahre 1999 in Abhängigkeit vom Bodentyp (in % der Kontrolle)

	Solo Aluvial Eutrófico	Latossolo Amarelo Alico	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico
Ertragssteigerung	190	451	1280
Niederschlag während der Vegetationsperiode (mm)	220	528	500

Quelle: AG Pflanzenernährung

Ebenso kann eine Managementmaßnahme bei verschiedenen Kulturpflanzen zu unterschiedlichen Effekten führen. (Abb. 4.1.3.6).

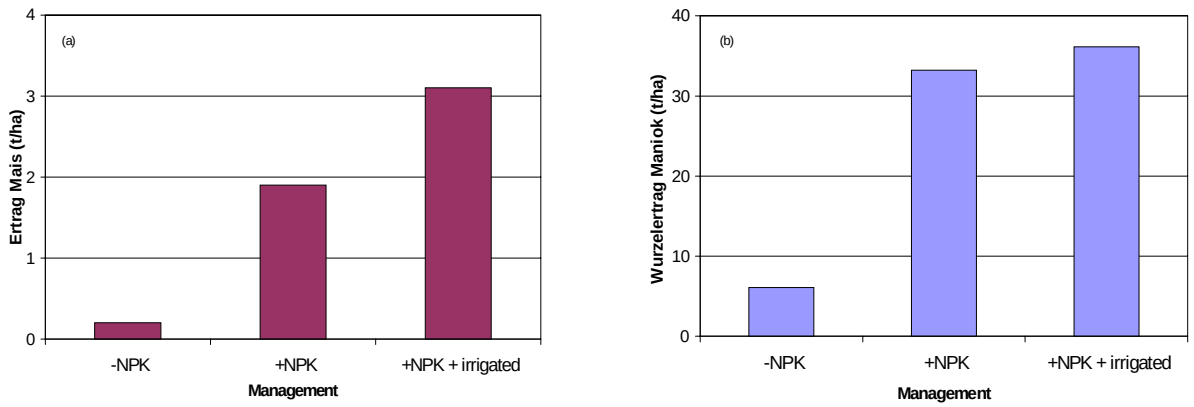


Abb. 4.1.3.6: Vergleich von Ertragsschätzungen für Mais (a) und Maniok (b) bei unterschiedlichem Management. Quelle: SPICE

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Landnutzung im Untersuchungsgebiet durch eine Vielzahl von ökologischen und sozio-ökonomischen Faktoren bestimmt wird, die wiederum räumlich und z.T. auch zeitlich sehr variabel sind. Mit dem Bodeninformationssystem SPICE wird zum einen versucht die Variabilität der physischen Faktoren zu erfassen und zum anderen ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, das eine Typisierung der ökologischen Vielfalt unterstützt, die für die Verschneidung mit den sozioökonomischen Faktoren unumgänglich ist. Angesichts der Vielzahl der ertragsbestimmenden Faktoren und deren Wechselwirkungen werden dynamische Wachstumsmodelle benötigt, um die Flächenerträge und den Wasserbedarf der bedeutendsten Kulturpflanzen in Abhängigkeit von Klima, Boden und Management mit angemessener Genauigkeit abschätzen zu können (vgl. Statusbericht TP Pflanzenernährung und Pflanzenbau).

4.1.4 Ökonomie

Gesamtwirtschaftliche Entwicklung

Die Nordostbundesstaaten gehören zu den ärmsten Bundesstaaten Brasiliens. Alle neun Bundesstaaten zusammen haben einen Anteil von 15% am brasilianischen Bruttoinlandsprodukt (BIP) von 1995, wobei 2,2% von Ceará und 0,5% von Piauí beigetragen werden. Das Pro-Kopf-BIP von Ceará beträgt 1995 nur die Hälfte des brasilianischen Mittelwertes, der piauiensische Wert liegt noch darunter. In beiden Bundesstaaten hat der Dienstleistungssektor den höchsten Anteil am BIP (Tab. 4.1.4.1). Den geringsten Beitrag in Ceará steuert der Landwirtschaftssektor bei, in Piauí der Industriesektor. Das BIP von Ceará ist insgesamt 3,7 Mal höher als in Piauí.

Tab.4.1.4.1: Gesamtes und nach Sektoren aufgeteiltes Bruttoinlandsprodukt (BIP) sowie Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt für Ceará und Piauí 1995 [Mio. U$ 1995] (SUDENE, 1996)

	Ceará	Piauí
BIP total [Mio. U$ 1995]	14.344	3.913
Landwirtschaft	1.183	975
Industrie	2.862	563
Dienstleistung	10.299	2.375
BIP/Kopf [US$ 1995/Person]	2.136	1.435

Da in Piauí und Ceará über 40% der Beschäftigten im Agrarsektor tätig sind (vgl. Tab. 4.1.5.2) ist in diesem Bereich auch das Pro-Kopf-Einkommen am geringsten (Piauí 50,4 R$, Ceará 55,1 R$ pro Monat). Da zudem die klimatischen Schwankungen im landwirtschaftlichen Sektor die

größte Auswirkungen haben, wurde in der ersten Projektphase der Schwerpunkt auf die Analyse des Agrarsektors gelegt.

Agrarstruktur

Die landwirtschaftlichen Betriebsflächen haben zwischen 1950 und 1985 in beiden Staaten zugenommen (Ceará + 8%, Piauí + 50%), sich zwischen 1985 und 1995/96 dagegen in beiden Staaten um 18% vermindert (Abb. 4.1.4.1). Dies geschah trotz anhaltendem Bevölkerungswachstum (vgl. Kapitel 4.1.5) vor allem zu Lasten der Acker- und Weideflächen in den Betrieben (Abb. 4.1.4.2). Ursache hierfür mag der Rückgang der Baumwollproduktion in den letzten 15 Jahren sowie die Degradation nicht nachhaltig genutzter Flächen sein.

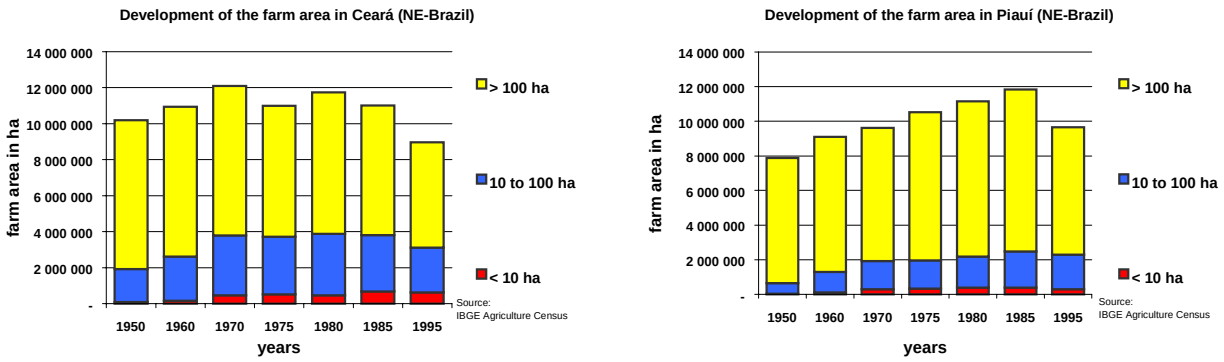


Abb. 4.1.4.1: Entwicklung der Betriebsflächen landwirtschaftlicher Betriebe in Ceará und Piauí

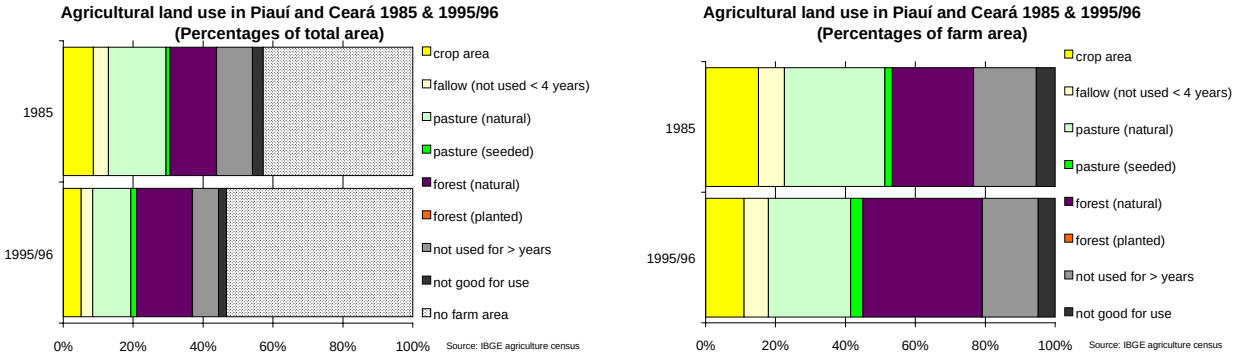


Abb. 4.1.4.2: Landnutzung landwirtschaftlicher Betriebe in Ceará und Piauí 1985 und 1995/96

Die durchschnittliche Betriebsgröße lag 1995/96 in Piauí mit 47 ha gegenüber Ceará mit 26 ha um rund 40% höher, was in etwa auch dem Unterschied zwischen den beiden Staaten von 1950 entspricht, wenn damals auch die Betriebe mit durchschnittlich 118 ha in Ceará und 231 ha in Piauí bedeutend größer waren (Abb. 4.1.4.3). Auffallend ist die große durchschnittliche Betriebsgröße im Südwesten von Piauí (Cerrado-Region), wo große extensive Rinderhaltungsbetriebe dominieren (vgl. Abb. 4.1.4.4). Der Vergleich der landwirtschaftlichen Betriebsfläche mit der Gesamtfläche zeigt, welch enormer Nutzungsdruck von der Landwirtschaft vor allem im semiariden Hinterland von Ceará ausgeht (vgl. Abb. 4.1.4.5).
Die Zahl der Betriebe hat zwischen 1950 und 1985 stark zugenommen (Ceará 374%, Piauí 792%), eine Tendenz, die sich in Ceará zwischen 1985 und 1995 fortsetzt (23%), während sie in Piauí wieder rückläufig war (-4,7%) (vgl. Abb. 4.1.4.5). Durch das traditionelle Erbrecht (Realteilung) ist es in den letzten Jahrzehnten zunehmend zu einer Zersplitterung gekommen. Der Anteil der Betriebe unter 10 ha hat sehr zugenommen; diese hatten in Piauí bereits 1970 einen Anteil von über 70%, während in Ceará dieser Wert erst 1995/96 erreicht wurde. In Piauí war

diese Tendenz im letzten Jahrzehnt leicht rückläufig. Die durchschnittliche Betriebsgröße der Betriebe unter 10 ha betrug 1950 knapp 5 ha, während sie 1995/96 nur noch gut 2 ha beträgt.

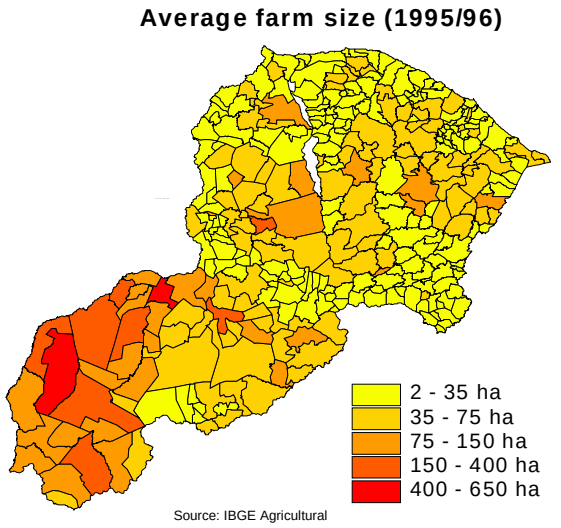


Abb. 4.1.4.3: Durchschnittliche Betriebsgrößen landwirtschaftlicher Betriebe in Ceará und Piauí 1995/96

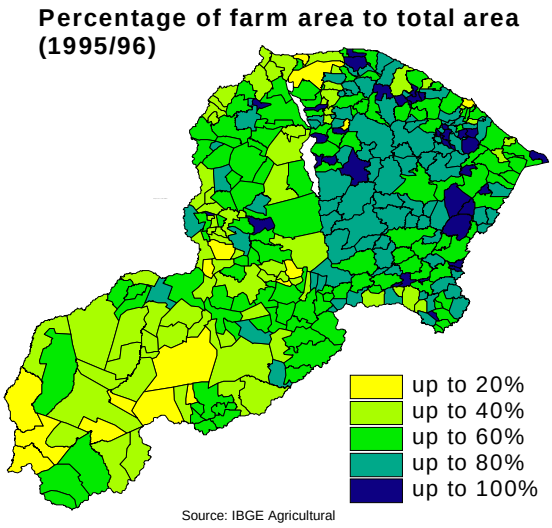


Abb. 4.1.4.4: Anteil der landwirtschaftlichen Betriebsfläche an der Gesamtfläche der Gemeinden in Ceará und Piauí 1995/96

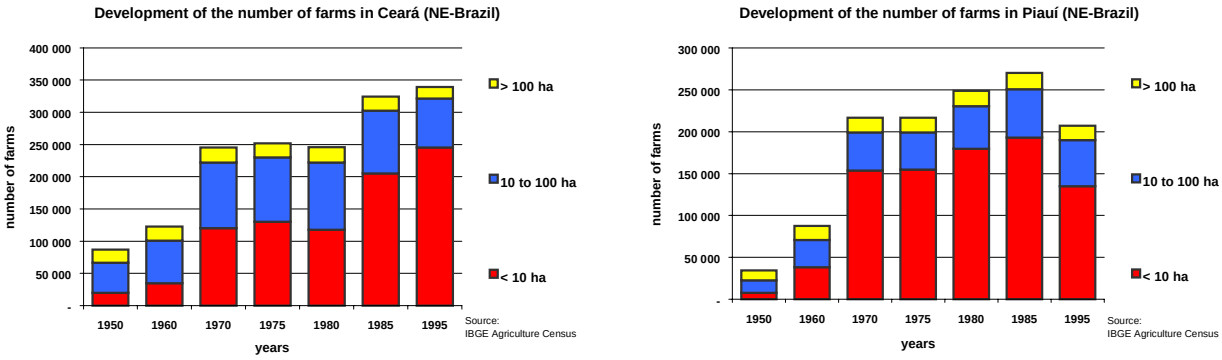


Abb. 4.1.4.5: Entwicklung der Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe in Ceará und Piauí

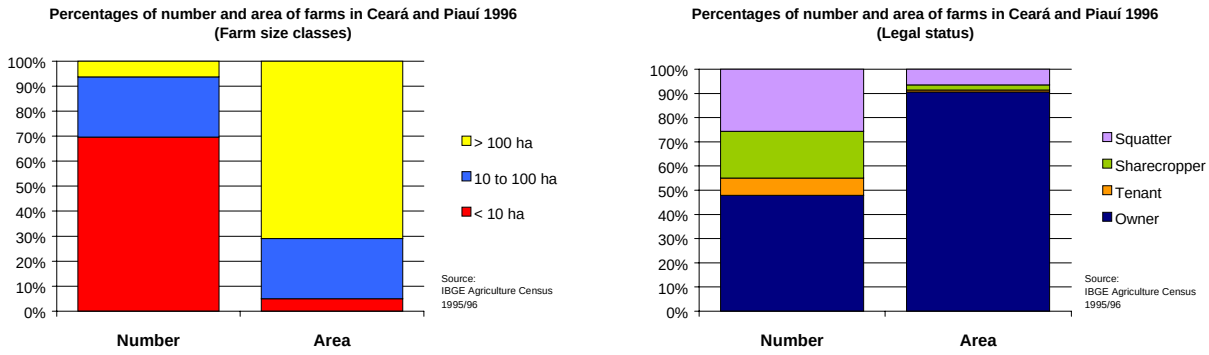


Abb. 4.1.4.6: Anteile der landwirtschaftlichen Betriebstypen an Fläche und Anzahl aller Betriebe in Ceará und Piauí 1995/96

1995/96 stehen 70% aller Betriebe weniger als 10 ha Betriebsfläche zur Verfügung, die Betriebe dieser Größenklasse verfügen aber nur über 5% der gesamten Betriebsfläche. Der Anteil der Betriebsfläche der Pächter, vor allem derjenigen mit produktionsabhängigen Pachtsatz und

der wilden Siedler ohne Rechtstitel an der gesamten Betriebsfläche ist hoch (über die Hälfte), diese Gruppen verfügen aber zusammen nur über 9% der gesamten Betriebsfläche (vgl. Abb. 4.1.4.6).

Arbeitskraft im Agrarsektor

Von der Gesamtbevölkerung von ca. 9,5 Mill. Einwohnern sind etwa 48% laut Statistik (Volkszählung 1996, IBGE, 1997b) erwerbstätig; etwa 1/3 der Bevölkerung lebt im ländlichen Raum. Von der erwerbstätigen Bevölkerung sind etwa 42% im landwirtschaftlichen Sektor tätig, dies ist ein hoher Wert im nationalen Vergleich (Brasilien: 29%). Der größte Teil der Arbeitskraft im landwirtschaftlichen Sektor setzt sich aus Familienarbeitskraft zusammen (Betriebsleiter und monetär nicht entlohnte Familienarbeitskräfte).
Die Arbeitskraft konzentriert sich in Kleinbetrieben (vgl. Abb. 4.1.4.7). Diese Betriebe sind fast ausnahmslos subsistenzorientierte, vorwiegend ackerbaubetreibende Familienbetriebe, die vor allem saisonale Grundnahrungsmittel wie Bohnen, Mais und Maniok in Mischkultur anbauen. Diese Betriebsgrößenklasse weist zudem den größten Anteil an Pächtern und wilden Siedlern auf. In den letzten Jahrzehnten mussten vor allem die Kleinbetriebe das natürliche Bevölkerungswachstum auffangen, während die Großbetriebe durch die Umwandlung von Acker- in Weideflächen Arbeitskräfte freigesetzt haben (z.B. trat an die Stelle des Baumwollanbaus die Viehhaltung). Die Großbetriebe haben gegenüber den Kleinbetrieben einen höheren Anteil an Eigentümern und ihr wichtigstes Produktionsziel ist meist die Viehhaltung. Dies ist die Ursache für ihren hohen Anteil an vor allem ständiger Fremdarbeitskraft, da die Viehhirten („vaqueiros“) Lohnarbeiter sind.

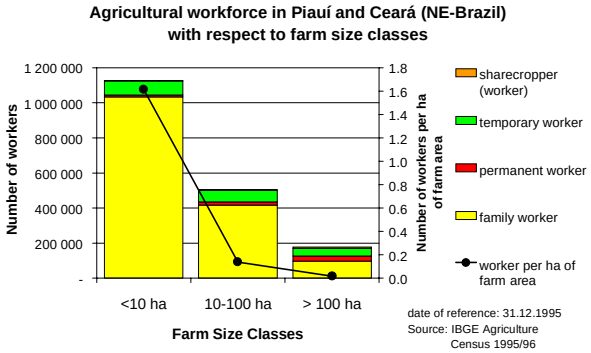


Abb. 4.1.4.7: Arbeitskraft landwirtschaftlicher Betriebsgrößentypen in Ceará und Piauí 1995/96

Der Arbeitskraftbedarf fällt im Ackerbau saisonal sehr unterschiedlich an, so dass es zu restriktiven Arbeitsspitzen in der Regenzeit trotz verdeckter Unterbeschäftigung in der Trockenzeit kommt, dies bestätigen auch die Modellrechnungen. Die saisonalen Arbeitskräfte sind eine der vulnerabelsten Gruppen, da ihr auf wenige Monate beschränkter Lohn in Dürrejahren völlig entfällt. So weisen diese und die vorwiegend Ackerbau betreibenden Kleinbauern ein hohes Migrationspotential auf.

Hauptprobleme der landwirtschaftlichen Betriebe

Die Hauptprobleme landwirtschaftlicher Betriebe im semiariden Bereich sind zum einen die hohe Variabilität der Niederschläge, die zu extremen Schwankungen der Erträge der pflanzlichen Produktion, sowie der natürlichen Vegetation als Futtergrundlage für die Tierhaltung führt. Zudem führt ein kontinuierlicher Nährstoffexport von den Feldern (Außer den Feldfrüchten verschwinden auch die Kulturpflanzenreste aus dem Feldkreislauf, da sie als Viehfutter Verwendung finden) zu einer erheblichen Verringerung der Bodenfruchtbarkeit und in Folge dessen zu

Ertragsdepressionen. In Dürrejahren (z.B. 1990 bis 1993) ist der Trockenfeldbau von Subsistenzprodukten sehr betroffen (teilweise völliger Ausfall der Ernte) und die Existenzsicherung gefährdet (vgl. Abb. 4.1.4.8).

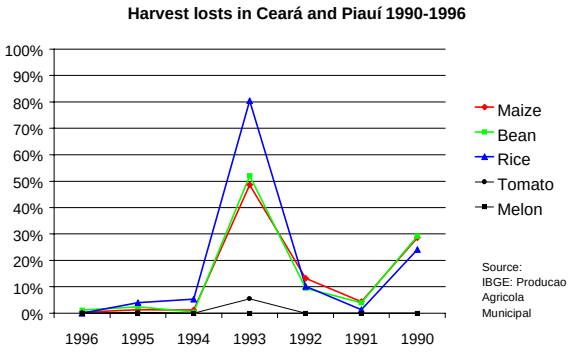


Abb. 4.1.4.8: Ernteverluste in Ceará und Piauí 1990 bis 1996

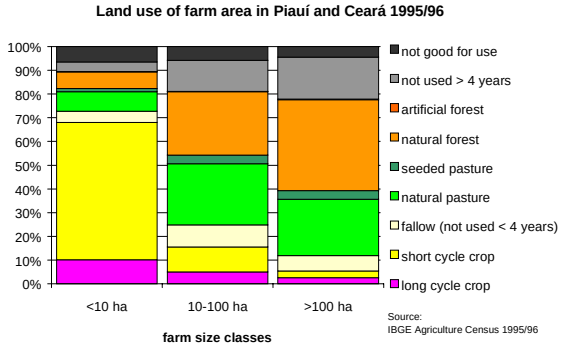


Abb. 4.1.4.9: Landnutzung landwirtschaftlicher Betriebsgrößentypen in Ceará und Piauí 1995/96

Die Landkonzentration und die Konzentration der Arbeitskraft in Kleinbetrieben führt zu einer akuten Bodenknappheit in den Kleinbetrieben unter 10 ha: Ihre Ackerflächen beanspruchen etwa zwei Drittel der Betriebsfläche und die Bracheflächen nehmen nur einen sehr geringen Anteil im Verhältnis zur saisonal genutzten Ackerfläche ein (nur etwa 8%, vgl. Abb. 4.1.4.9). Die klimatischen Bedingungen und die Landknappheit zwingen die Kleinbauern in den dichter besiedelten Regionen, jedes Jahr die Felder zu bestellen, was bei fehlender Düngung (Kapitalarmut) zu einer sinkenden Flächenproduktivität führt und die Landknappheit wiederum verstärkt (Intensitätsniveau „tractor“, siehe unten: „Intensitätsstufen des Ackerbaus“). Dies zwingt zunehmend die kleinbäuerlichen (wenig kapitalintensiven) Betriebe zur Betriebsaufgabe und hat damit die Abwanderung der bäuerlichen Familien zur Folge. Die Regierung versuchte in der Vergangenheit, die Not durch die Errichtung von Arbeitsfronten z.B. zum Bau von Straßen und Staudämmen zu lindern.

Die Großbetriebe betreiben vor allem extensive Rinderwirtschaft und produzieren Fleisch für die überregionalen Märkte. In den letzten Jahren hat auf den Fazendas eine begrenzte Modernisierung (Einführung neuer Rassen, Einsatz moderner Inputs und Tierhygiene) stattgefunden. Etwa 55% der Betriebe zwischen 10 und 100 ha führen Tierhygienemaßnahmen (z.B. Impfungen gegen Tollwut und Maul- und Klauenseuche) durch, bei den Betrieben über 100 ha sind es sogar um die 80%. Die Viehgroßbetriebe sind hinsichtlich einer Dürre weniger vulnerabel als die ackerbaubetreibenden Kleinbetriebe, oft haben sie mit staatlicher Hilfe kleine Stauseen errichtet, die sie als Viehtränke benutzen. Zu hohe Bestockungszahlen führen jedoch zu Degradation von Weideflächen, so ist im Munizip Tauá die Futtergrundlage für Milchviehhaltung nach Analysen insbesondere während der Trockenzeit nicht ausreichend, um die Milchleistung auf dem Niveau der Regenzeit aufrecht erhalten zu können. Vieh wird deshalb von den kapitalarmen Kleinbetrieben vor allem als Risikoabsicherung für Notzeiten gehalten. Nur 17% der Kleinbetriebe unter 10 ha führen Tierhygienemaßnahmen durch.
Die nicht durch die Viehhaltung genutzten Flächen stellen die Großgrundbesitzer (Patron) oft Kleinpächtern zur Verfügung. Pachtverträge werden in der Regel mündlich getroffen, als Entlohnung wird i.d.R. ein gewisser Teil der Ernte vereinbart, oder der Pächter stellt ein Teil seiner Arbeitskraft und oft auch die der Familienmitglieder dem Patron zur Verfügung. Problematisch dabei sind die auch heute noch teilweise feudalen Gesellschaftsstrukturen (vgl. Brühl, 1989). In Trockenzeiten beanspruchen die Großgrundbesitzer die Pachtflächen für ihr Vieh. Da die Kleinpächter daher ihr Land nur für wenige Jahre nutzen, besteht keine Motivation, den Boden nachhaltig zu nutzen.

Für die geringen Flächenerträge des Ackerbaus ist neben den schlechten natürlichen Rahmenbedingungen vor allem die sehr geringe Kapitalausstattung der Betriebe verantwortlich. Der Masse der Kleinbauern bleibt der Zugang zu Krediten und Produktionsmitteln erschwert. Die Banco do Nordeste (BN) hat vor zwei Jahren das „Nationale Kreditprogramm bäuerlicher Familien“ (Programa Nacional de Agricultura Familiar – PRONAF) ins Leben gerufen. Zielgruppe sind die Familien von Kleinbauern (max. Fördersumme: 15.000 R$). Bis heute wurde das Programm kaum von den Kleinbauern angenommen obwohl es theoretisch auch für Kleinpächter ohne Eigentum zugänglich ist. Dies hat folgende Ursachen: Es gibt keine Bereitschaft zur gegenseitigen Haftung in Kreditgemeinschaften, die als Sicherheit von der BN – bei fehlendem Bodeneigentum - gefordert werden. Zudem scheuen die Kleinbauern die bürokratischen Hürden wie den Besitz einer Geburtsurkunde bzw. eines Ausweises, die Erstellung eines Investitionsplans und einen formeller Pachtvertrag mit festem Pachtsatz. In der Regel sind die Pächter Analphabeten, haben nur eine mündliche Vereinbarung mit dem Eigentümer getroffen und der Pachtsatz ist abhängig von dem Ertrag. Zudem verhalten sich die Kleinbauern einem Kredit gegenüber sehr risikoaversiv.

Der IBGE Agrarzensus weist Flächenanteile von länger als 4 Jahren ungenutzten, obgleich produktiven Flächen aus, deren Anteil an der Betriebsfläche mit der Betriebsgröße steigt. Von den Befürwortern einer Landreform wird der Anteil solcher Flächen für die Großbetriebe sogar höher eingeschätzt. Eine Umverteilung von Land wird oft als wichtigste Maßnahme zur Armutsbekämpfung angesehen (vgl. z.B. Hees, 1996; Tavares, 1995). Es stellt sich die Frage, ob diese potentiell zu enteignenden Flächen nachhaltig durch den Ackerbau zu nutzen sind. Veloso (1998) weist darauf hin, dass in anderen Großregionen Brasiliens trotz vergleichbarer Landkonzentration die Lage nicht so prekär ist wie im Nordosten.

Intensitätsstufen des Ackerbaus

Der Ackerbau wird auf unterschiedlichen Intensitätsniveaus betrieben, die unterschiedliche Ansprüche an die Produktionsfaktoren haben (Tab. 4.1.4.2). Im folgenden wurde versucht fünf Grundtypen der Anbauintensität zu charakterisieren:

- Wanderfeldbau ohne Einsatz von Düngemitteln und geringem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln („simple“) wird vor allem in dünn besiedelten Gebieten praktiziert. Die Fläche wird meist nur ein bis zwei Jahre genutzt, je nach Bevölkerungsdichte dauert ein Zyklus 3 bis 15 Jahre. In der Regel werden Bohnen, Mais und Maniok in Mischkultur für die Subsistenz der Familie angebaut.
- Regenfeldbau mit mechanisierter Bodenvorbereitung ohne Einsatz von Düngemitteln und geringem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln („tractor“) tritt an die Stelle des Wanderfeldbaus in dichter besiedelten Gebieten, so z.B. in der Nähe der Stadt Picos. Da die Pflanzenreste für die Tierernährung dem System entnommen werden und aus Kapitalarmut keine chemischen Düngemittel eingesetzt werden und auch kein Fruchtwechsel durchgeführt wird, ist die Bodenfruchtbarkeit auf diesen Flächen sehr gering. Dieses Intensitätsniveau ist zusammen mit dem Wanderfeldbau am meisten verbreitet. Es werden begrenzt Insektizide eingesetzt (Etwa 40 bis 50% der Betriebe in Ceará führen Pflanzenschutzmassnahmen durch, in Piauí sind es sogar nur etwa 15 bis 20%).
- Mechanisierter Regenfeldbau mit Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln („modern“) hat trotz höherer Deckungsbeiträge aufgrund der Kapitalarmut und des geringen Ausbildungsstandes der Betriebsleiter nur geringe Bedeutung. Nur 4% (Ceará) bzw. 2% (Piauí) aller Betriebe nehmen Agrarberatung in Anspruch. In Ceará setzen nur etwa 7% aller Betriebe chemische Düngemittel ein, in Piauí sind es weniger als 2% (Betriebe > 100 ha: 3,8%, vgl. Tab. 4.1.4.3).
- Bewässerungsfeldbau ohne Einsatz an Düngemitteln und geringem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln („irrlow“) wird mit meist mit Stau- oder Furchenbewässerung betrieben.

- Bewässerungsfeldbau mit intensivem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmittel („irrhigh“) wird von marktorientierten, gut ausgebildeten Landwirten oder Agro-Business Firmen durchgeführt (überwiegend Beregnung), vor allem im Jaguaribetal. Obwohl 1996 nur etwa 6,2% der Ackerfläche bewässert sind (Betriebe < 10 ha: 4,8%, 10-100 ha: 5,1%, >100 ha: 8,6%), kommt der Bewässerung in diesem Raum eine Schlüsselstellung zu: Es kann über den Subsistenzbedarf marktorientiert produziert werden (hohe Erträge, 2 bis 3 Ernten im Jahr); die Produktion erfolgt zudem unabhängig vom Niederschlagsregime, dadurch kann der „Falschenhals“ Arbeitszeit in der Regenzeit überwunden werden. Oft jedoch haben die schlecht gemanagten Bewässerungsprojekte zur Versalzung der Böden geführt. Ein schlechtes Ressourcenmanagement hat im Munizip Tauá dazu geführt, dass es zu viele Stauseen gibt, die vor allem im Oberlauf von Zuflüssen größerer Seen zur Austrocknung dieser geführt haben.

Tab. 4.1.4.2: Arbeits-, Boden und Kapitalintensität auf unterschiedlichen Intensitätsniveaus im Ackerbau von Ceará und Piauí

	SIMPLE	TRACTOR	MODERN	IRRLOW	IRRHIGH
Arbeitsintensität	**+ +**	**o**	**+**	**o**	**+ +**
Bodenintensität	**+ +**	**o**	**-**	**o**	**- -**
Kapitalintensität	**- -**	**-**	**+**	**o**	**+ +**

- - sehr gering, - gering, o mittel, + hoch, + + sehr hoch

Tab. 4.1.4.3: Einsatz von modernen Inputs in Ceará und Piauí 1995/96

		x Prozent aller Betriebe setzen 1995/96 im Ackerbau ein:				
		Dünger (chem. bzw. organisch)	chemischen Dünger	organischen Dünger	Boden-korrektiva (Kalk)	Pflanzen-schutzmittel
Ceará	< 10 ha	11,1%	6,4%	7,4%	0,2%	37,3%
	10 to 100 ha	14,9%	7,3%	11,7%	0,5%	46,3%
	> 100 ha	21,4%	7,4%	19,0%	0,8%	48,8%
Piauí	< 10 ha	3,7%	1,9%	2,6%	0,0%	14,8%
	10 to 100 ha	3,7%	1,5%	2,8%	0,2%	19,2%
	> 100 ha	7,9%	3,8%	6,1%	1,0%	21,2%

Quelle: Agrarzensus 1995/96 (IBGE, 1998a)

Preisentwicklung

Die Preise für Agrarprodukte weisen saisonale Schwankungen auf, erwartungsgemäß sind die Preise für die ausschließlich regional vermarkteten Grundnahrungsmittel wie Mais und Bohnen unmittelbar nach der Ernte am niedrigsten. Eine Verknappung dieser Produkte durch dürrebedingte Produktionsausfälle lässt die Preise dagegen stark ansteigen (Abb. 4.1.4.10).

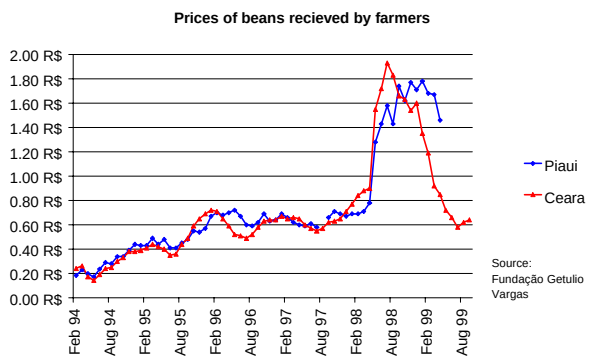


Abb. 4.1.4.10: Entwicklung des Produzentenpreises für Bohnen in Ceará u. Piauí 1994 - 1999

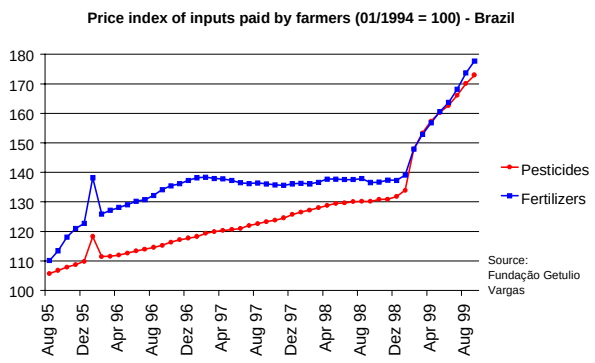


Abb. 4.1.4.11: Entwicklung des Preisindexes für chemische Inputs in Ceará und Piauí 1995 bis 1999

Die überwiegend importierten chemischen Inputs (Dünger und Pestizide) haben sich durch die Wechselkursrelationen seit Anfang 1998 stark verteuert (Abb. 4.1.4.11).

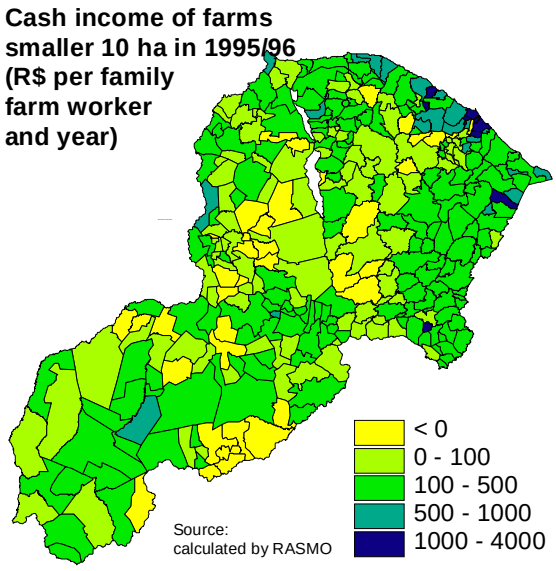


Abb. 4.1.4.12: Durchschnittliches monetäres Einkommen landwirtschaftlicher Betriebe unter 10 ha in Ceará und Piauí 1995/96

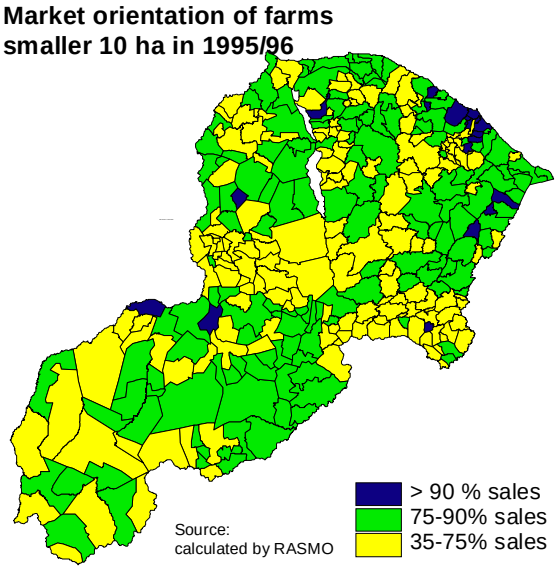


Abb. 4.1.4.13: Marktorientierung landwirtschaftlicher Betriebe unter 10 ha in Ceará und Piauí 1995/96

Einkommen der landwirtschaftlichen Betriebe

Mit dem im WAVES Programm entwickelten Agrarsektormodell RASMO wurde für das Jahr 1995/96 errechnet, dass – unter der realistischen Annahme, dass die Subsistenz einer bäuerlichen Familie allein aus der Landwirtschaft bestritten wird – in manchen Gemeinden die Landwirtschaft für die Kleinbetriebe ein monetär defizitäres Geschäft ist, so dass ein Überleben für alle Nachkommen allein durch die Landwirtschaft nicht gegeben ist (Abb. 4.1.4.12)[1] . Das Einkommen steigt mit der Betriebsgröße (RASMO-Berechnung des durchschnittlichen Einkommens pro Familienarbeitskraft und Jahr 1996: < 10 ha: 215 R$, 10-100 ha: 1673 R$, >100 ha: 13.573 R$).

[1] Abb. 4.1.4.12 zeigt vorläufige Simulationsergebnisse, die noch mit Fehlern behaftet sein können. So wurden im Modell und vermutlich auch nicht im Agrarzensus feuchte Gunststandorte (temporär überflutete Flächen und feuchte Niederungen) berücksichtigt, auf denen die Kulturen mit hohem Wasserbedarf (z.B. Zuckerrohr, Futtergras und Bananen) einen Ertrag auch ohne Bewässerung erzielen, obwohl der Niederschlag allein hierfür normalerweise nicht ausreicht.

Der Vermarktungsanteil der ackerbaulichen Produkte gegenüber dem mit Marktpreisen bewerteten Subsistenzbedarf ist nach Kalkulationen des Modells RASMO allgemein hoch, besonders im Großraum Fortaleza und im Tal des Jaguaribe (vgl. Abb. 4.1.4.13).

Insgesamt können in der momentanen Situation folgende vorrangigen Problemkreise für die landwirtschaftliche Produktion in Piauí und Ceará identifiziert werden:

- Hohe zeitliche Variabilität der Wasserverfügbarkeit für die Landwirtschaft (Familie, Tiere und Bewässerung, Regenfeldbau)
- Degradierungsprozesse der natürlichen Ressourcen
- Geringe Kapitalverfügbarkeit eines Großteils der landwirtschaftlichen Betriebe
- Starke zeitliche Schwankungen der Erzeugerpreise und damit in Zusammenhang mit der ebenfalls hohen zeitlichen Variabilität der Niederschläge ein hohes Produktionsrisiko

Mögliche Lösungsansätze sind:

- Minimierung des Produktionsrisikos durch stabilisierende Maßnahmen auf dem Agrarmarkt (Lagerhaltung, Preispolitik etc.), dem Betriebsmittelmarkt und in der Wasserversorgung
- ökologisch angepasste Wirtschaftsweisen, um Nachhaltigkeit von Ressourcen langfristig zu gewährleisten, d.h. Erhalt der physischen Produktionsgrundlagen Boden, Wasser und Vegetation
- Erarbeitung von sozial verträglichen und an die kulturellen Besonderheiten angepassten Entwicklungspfade auf einzelbetrieblicher Ebene, um Nachhaltigkeit auch im gesellschaftlich-sozialen Bereich langfristig gewährleisten zu können (siehe folgender Abschnitt 4.1.5).

4.1.5 Soziale Systeme

Demographie

Beide Bundesstaaten zeichnen sich gegenüber dem Gesamtstaat Brasilien durch seinen relativ jugendlichen Altersaufbau ab. So betrug das Durchschnittsalter in Gesamtbrasilien 1996 27,2 Jahre, während es in Ceará bei 26,1 Jahren und in Piauí bei 25,4 Jahren lag (Tab. 4.1.5.1). Auch bezogen auf die Geburtenrate spiegelt sich die relative Jugend dieser beiden Bundesstaaten wider: so lag die Geburtenrate 1991 in Piauí um rund vier Kinder und in Ceará um fast sechs Kinder je tausend Einwohner über dem brasilianischen Schnitt. 1996 waren die Abweichungen noch größer: in Piauí wurden sechs Kinder je tausend Einwohner und in Ceará acht Kinder mehr geboren als in Gesamtbrasilien. In der Tendenz kann allerdings festgestellt werden, dass aufgrund der sich verändernden Altersstruktur und der Abnahme der totalen Fertilitätsrate (TFT) sich die Fertilität im Untersuchungsgebiet dem gesamtbrasilianischen Schnitt langsam annähert.
Die hohe Fertilität im Nordosten wird jedoch durch Migration kompensiert. Das jährliche Bevölkerungswachstum im Zeitraum von 1991 – 1996 ist in Ceará daher mit 1,35% in etwa so hoch wie im brasilianischen Durchschnitt (1,42%), während Piauí mit 0,69% deutlich darunter liegt.

Tab. 4.1.5.1: Demographische Entwicklung Piauí und Ceará gegenüber Gesamtbrasilien

	Brasilien	**Piauí**	**Ceará**
Jährliche Bevölkerungsentwicklung 1980 bis 1991	1,95 %	1,73 %	1,71 %
Jährliche Bevölkerungsentwicklung 1991 bis 1996	1,42 %	0,69 %	1,35 %
Jährliche Netto-Migrationrate 1986 – 1991 (IBGE) (% der Gesamtbevölkerung 1991)		0,52 %	0,39 %
Jährliche Netto-Migrationrate 1991 – 1996 (IBGE) (% der Gesamtbevölkerung 1996)		0,54 %	0,23 %
Jährliche Netto-Migrationrate 1991 – 1996 (eigene Berechnung) (% der Gesamtbevölkerung 1996)		0,93 %	0,46 %
Durchschnittsalter 1991	25,94 Jahre	23,74 Jahre	24,89 Jahre
Durchschnittsalter 1996	27,17 Jahre	25,39 Jahre	26,05 Jahre
Anteil der abhängigen Bevölkerung 1991 (Personen im Alter unter 15 und über 65 J.)	39,55 %	45,56 %	44,01 %
Anteil der abhängigen Bevölkerung 1996 (Personen im Alter unter 15 und über 65 J.)	36,99 %	41,98 %	41,72 %
Geburtenrate 1991 (Geburten je 1.000 EW)	22,89	26,43	28,20
Geburtenrate 1996 (Geburten je 1.000 EW)	19,69	25,26	27,46
Sterberate 1991 (Tote je 1.000 EW)	7,11	10,13	9,67
Sterberate 1996 (Tote je 1.000 EW)	6,82	8,17	8,32
Bevölkerungsdichte 1991	17,18	10,86	43,73
Bevölkerungsdichte 1996	18,45	11,25	46,77

Quellen: Censo Demográfico 1991 (IBGE, 1991); Contagem da População 1996 (IBGE, 1997b). Die Angaben zur Netto-Migrationrate 1986-1991 und 1991-1996 wurden (aufgrund der in den beiden Zensen durchgeführten Zählungen der Zuwanderungen) direkt vom IBGE zur Verfügung gestellt. Eigene Berechnungen ergaben jedoch aufgrund der Bevölkerungsentwicklung zwischen 1991 und 1996 ein abweichendes Ergebnis. Insgesamt wird angenommen, dass die Berechnung des IBGE für beide Zeiträume auf gleiche Weise vorgenommen wurde, die Veränderungen zwischen den Erhebungsdaten also real ist.

Einkommen und Beschäftigung

Zunehmende Mechanisierung und erhöhte Arbeitsproduktivität führten zu einer umfangreichen Freisetzung landwirtschaftlicher Arbeitskräfte (Vgl. Tab. 4.1.5.2). So nahm zwischen 1985 und 1995 die Zahl der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte um 12% ab, während die Zahl der Betriebe nur um 8% zurückging. Auch hier gestaltet sich die Entwicklung zwischen den beiden Staaten nicht gleichförmig: Während in Piauí die Abnahme der Landwirtschaftlichen Arbeitskräfte (-23%) mit der Abnahme der Betriebe (-19%) korrespondierte, nahm die Anzahl der Arbeitskräfte in Ceará um 8% ab, während die Anzahl der Betriebe im gleichen Zeitraum um 5% zunahm.
Nach wie vor ist ein Großteil der Beschäftigten im Untersuchungsgebiet in der Landwirtschaft tätig. Dennoch findet in den 90er Jahren eine zunehmende Umorientierung zu anderen Wirtschaftszweigen statt. In Piauí verläuft die Abwanderung aus der Landwirtschaft sowohl zugunsten des Industrie- als auch des Dienstleistungsbereichs, während in Ceará nur der Dienstleistungsbereich davon profitiert (vgl. Tab. 4.1.5.3).

Tab. 4.1.5.2: Landwirtschaftliche Betriebe und Arbeitskräfte 1985 zu 1995/96

	Anzahl der Betriebe 1985	Arbeitskräfte 1985	Anzahl der Betriebe 1995/96	Arbeitskräfte 1995/96
Piauí	270.443	818.492	206.998	664.148
Ceará	324.278	1.271.800	339.602	1.169.845

Quelle: Censo Agropecuário 1985 und 1995/96 (IBGE, 1985, 1998)

Tab. 4.1.5.3: Beschäftigte nach Wirtschaftssektoren 1992 und 1996 [%]

Sektoren	Piauí		Ceará	
	1992	1996	1992	1996
Agrarbereich	51,29	45,56	40,28	39,69
Industrie und Handwerk	10,51	13,61	16,30	15,47
Dienstleistungsbereich	37,37	40,49	42,64	43,92
Anderes	0,84	0,35	0,78	0,93

Quelle: IBGE Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - 1996 (IBGE, 1996c)

Die Veränderungen in der Erwerbsstatistik und auch die Ergebnisse der durchgeführten Befragung zeigen, dass von der ländlichen Bevölkerung zunehmend ein monetäres Einkommen angestrebt wird. In Piauí und Ceará sind 1996 die Beschäftigten ohne geldwertes Einkommen zu 85% in der Landwirtschaft tätig. Gleichzeitig betragen die Einkommen aus der Landwirtschaft nur ein Bruchteil der Einkommen aus den anderen Sektoren. So verdient (1996) ein Beschäftigter, in der Landwirtschaft in Piauí durchschnittlich 50 R$ und in Ceará 55 R$ im Monat während der gesetzliche Mindestlohn schon bei 112 R$ und der Durchschnittsverdienst in Piauí bei 150 R$ und in Ceará bei 200 R$ monatlich liegt (vgl. 4.1.5.4).

Insgesamt sind die Verdienstmöglichkeiten in Ceará besser als in Piauí, was sich auch in den Migrationszahlen niederschlägt: zwischen 1991 und 1996 wanderten nach den Volkszählungsdaten (IBGE, 1997b) von Piauí rund 8.000 Menschen nach Ceará ab, während in umgekehrter Richtung nur 6.400 Menschen wanderten. Die Ergebnisse der durchgeführten Befragung zeigen, dass die Erwerbs- bzw. Verdienstmöglichkeiten einen dominierenden Grund für die Wahl der Migrationsziele darstellen: so entfallen 64% der Nennungen auf den Bereich der Erwerbsarbeit, während der allgemeinere Aspekt der verbesserten Lebensbedingungen nur 5% der Nennungen ausmacht.

Um die Landwirtschaft für größere Teile der ländlichen Bevölkerung lukrativer zu gestalten, müsste die Produktion derart ausgeweitet werden, dass neben der Selbstversorgung ein Teil

der Produktion auch für den lokalen Konsum und für den Handel auf regionalen Märkte verkauft werden kann.

Der gesellschaftliche Modernisierungsschub Brasiliens in den letzten 50 Jahren hat dazu geführt, dass heute insbesondere auch in der Landwirtschaft moderne Produktionsprozesse und traditionellen Formen der Nutzung, Reproduktion und Entlohnung der Arbeitskraft unmittelbar nebeneinander stehen.

Tab. 4.1.5.4: Durchschnittliche Monatseinkommen [R$] und Beschäftigte ohne Einkommen nach Sektoren Ceará und Piauí 1996

Sektor	Piauí		Ceará	
	Durchschnittseinkommen [R$]	Anzahl Personen ohne Einkommen	Durchschnittseinkommen [R$]	Anzahl Personen ohne Einkommen
Landwirtschaft	50,35	342.589	55,08	601.922
Industrie und Handwerk	190,02	30.120	243,55	30.873
Dienstleistungsbereich	245,44	38.184	304,40	72.593
Andere Aktivitäten	707,23	0	951,65	530
Gesamt	150,62	410.893	202,06	705.918

Quelle: IBGE Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - 1996 (IBGE, 1996c, eigene Berechnung)

Es ist als Prozess des Strukturwandels anzusehen, dass insbesondere jüngere und besser gebildete Menschen versuchen, an der gesellschaftlichen Modernisierung teilzuhaben und vor den traditionellen Sozialstrukturen der Fazenda fliehen.

Politisches System

Das politische System im Nordostbrasilien bzw. der Munizipien Picos (PI) und Tauá (CE) wird durch spezifische Konfliktkonstellationen im Modernisierungsprozess geprägt.
Die Konfliktkonstellationen ergeben sich in erster Linie aus Partikularinteressen der sozialen Akteure, die unter anderen auch die Verfügung über Wasserressourcen betreffen, aber auch aus den kollektiven Bedürfnissen der Bevölkerung, die sich angesichts Ressourcenknappheit und umweltbedingter Bedrohungen in Forderungen an den Staat nach der Sicherung ihrer Existenz und sogar der Erhöhung der Lebensqualität niederschlagen. Nicht nur knappe Umweltressourcen, wie Wasser und Boden, wurden als potentielle Konfliktursachen aufgefasst, sondern auch jegliche Mängellagen, die auf asymmetrische Verteilungsstrukturen hinweisen.
Träger der gesellschaftlichen Konflikte sind sowohl zivilgesellschaftliche Kollektive, d.h. die organisierte Gesellschaft in Form von politischen Parteien, Bauern-, Bewohner-, Jugend-, Frauen- und Schülervereinen, Gewerkschaften und kirchlichen Organisationen als auch das einzelne Individuum, dessen Protest außerhalb der politisch organisierten Kollektive von der gesellschaftspolitischen Apathie bis hin zur spontanen Teilnahme an Plünderungsaktionen reichen kann. Die Interessengruppen gelten nicht nur als vermittelnde Sprachrohre beim Austragen von Interessengegensätzen, sondern auch als Raum der Willensbildung und der Willensartikulation der Mitglieder.

Der Modernisierungsprozess, der sich auf der Ebene der Wirtschaft vor allem im Bundesstaat Ceará abspielt, spiegelt sich nicht auf der Ebene der Politik wider. Sowohl in der Fokusregion Picos als auch in Tauá herrscht noch die althergebrachte politische Tradition des „Coronelismus“ vor, wenngleich in abgeschwächter Form. Das heißt, dass einige traditionelle Familien in den betreffenden Untersuchungsgebieten weiterhin versuchen, Politik und Wirtschaft zu kon-

trollieren. Ökonomische und politische Macht sind in vielen Fällen noch immer zu einem gesellschaftlichen Gebilde verschmolzen, das modernisierungshemmend wirkt. Politik stellt oft noch ein buchstäbliches „Tauschgeschäft“ dar, wonach sich der Kommunalpolitiker traditioneller Couleurs politische Legitimation und Loyalität durch direkte persönliche Sachleistungen bei den Wählern erkauft.
Mangelnde Partizipation der Bürger an öffentlichen Entscheidungen, die das Munizip betreffen, führt zur gesellschaftspolitischen Apathie oder Fatalismus. Die gesellschaftspolitische Apathie als Handlungsalternative bedeutet, dass sich der soziale Akteur aus sozialpolitischen Aktivitäten, wie z.B. Beteiligung an Bewohner- oder Bauernvereine, Gewerkschaften oder politischen Parteien, fern hält. Der Fatalismus hat einen kulturellen Aspekt, der durch die politische Apathie verschärft wird, d.h. sich aus sozialpolitischen Aktivitäten fernzuhalten und die alltägliche materielle Misere als Gotteswillen zu begreifen.

Im Rahmen der Feldforschung wurden auch politische Ausdrucksformen im Untersuchungsgebiet Tauá beobachtet, die als Zeichen sozialpolitischen Engagements unterschiedlicher Interessengruppen interpretiert werden können. Dazu gehören die Aktivitäten der katholischen Kirche, die die Bürger zur bewussten Ausübung ihres Wahlrechts aufrief, sowie die Aufklärungskampagnen des Syndikats der Landarbeiter, das nicht nur als Ort der kollektiven politischen Willensbildung fungiert, sondern auch ihrer Klientel juristischen Beistand hinsichtlich des ländlichen Arbeitsrechts leistet. Als Zeichen des Bruches mit dem System des „Coronelismus“ und der Partikularinteressen wurde auch 1998 die Wahl des amtierenden Bürgermeisters bewertet, der sich während des Wahlkampfs von der althergebrachten Praxis des Klientelismus, des Erwerbs der Wählerstimmen distanzierte.

Die Gemeinden Picos und Tauá in ihrer Eigenschaft als politisch-administrative Subsysteme unterliegen der höheren Kontrolle des Bundes. Ihre Handlungskompetenz hinsichtlich der Durchführung von konjunkturellen Maßnahmen zur Ankurbelung der lokalen Wirtschaft ist äußerst begrenzt. Das führt dazu, dass Kredit- oder öffentliche infrastrukturelle Verbesserungspolitik, die den lokalen Bauern helfen könnte, in hohem Masse von den Gunsten der Vertreter der regionalen Elite im bundesstaatlichen Abgeordnetenhaus oder im Nationalen Kongress abhängt. Das trägt zur Verschlimmerung der sozialen Spannungen in den Untersuchungsgebieten und des Problems der Land-Stadt-Migration erheblich bei.
Viele Kleinbauern, die nicht über eigenes Land verfügen, können keinen Kredit bei den Banken aufnehmen und sehen sich praktisch dazu gezwungen, die Vermarktung ihrer landwirtschaftlichen Produkte durch Zwischenhändler abzuwickeln. Obgleich in manchen Fällen unentbehrlich, stellt das System der Zwischenhändler ein großes Problem insofern dar, dass es eine Kapitalisierung der Betriebe verhindert, weil der Zwischenhändler die landwirtschaftlichen Produkte unter ihren reellen Marktpreis aufkauft. Diese Tatsache führt zur niedrigen Kapitalisierung der Kleinbauern und erschwert Reinvestitionen in den Betrieb, weil sich die Kleinbauern über die Stufe des Subsistenzniveaus nicht hinaus entwickeln können. Sie müssen, um die Familieneinkommen verbessern zu können, zusätzlich zur Subsistenzwirtschaft saisonale Tätigkeiten aufnehmen oder Arbeitsmöglichkeiten in anderen Ortschaften suchen (Pendeln).

Lebensqualität

Die objektive Lebensqualität von Räumen kann mit Hilfe von Indikatoren beschrieben werden. Sie geben Aufschluss darüber, welche Ressourcen dem Akteur (potentiell) zur Realisierung von Ansprüchen an Lebensqualität zur Verfügung stehen. Daten auf der Munizipebene stehen durch den Indice de Desenvolvimento Humano (IDH 1998[2]) zur Verfügung. Aufgrund der Da-

[2] Die Daten des IDH wurden neu aggregiert, um sie auf die Struktur der Munizipien von 1996 abzubilden.

tenlage können hier nur Durchschnittswerte dargestellt werden, d.h. vulnerable Gruppen der Bevölkerung sind nicht separat erfasst. Es ist aber davon auszugehen, dass ärmere soziale Schichten in Munizipien mit einer hohen Ungleichverteilung der Einkommen auch bei nicht einkommensbezogenen Indikatoren benachteiligt sind.

Der wichtigste Indikator zur Einkommenslage ist das **durchschnittliche Familieneinkommen pro Kopf**. Im Jahr 1991 lag die Bandbreite bei 0,14 Salario Minimo (SM) vom September 1991 bis zu 1,33 SM (Fortaleza). Die Fokusregion Picos ist mit 0,60 SM im Mittelfeld vertreten, während Tauá mit 0,37 SM eher am unteren Ende rangiert (Abb. 4.1.5.1). Der Übersicht halber sind die folgenden Grafiken nach den Szenarioregionen (Abb. 7.1, Kapitel 7.1) aggregiert.
Auffällig ist der starke Anstieg des Familieneinkommens pro Kopf zwischen 1970 und 1980 auf ungefähr das doppelte, wohingegen die Entwicklung zwischen 1980 und 1991 aufgrund der gesamtbrasilianischen Krise stagniert. Der Großraum Fortaleza realisiert 1991 ca. 10% mehr als Teresina; die anderen Regionen kommen dagegen nur auf 30-40% dieses Wertes. Man kann daher von einer andauernd hohen Diskrepanz der einkommensbezogenen Lebensverhältnisse zwischen den metropolitanen Ballungsräumen und dem Land ausgehen.

Der Anteil der Bevölkerung an der Gesamtbevölkerung, der nur über ein **unzureichendes Einkommen** (weniger als 50% des S.M. vom 1.9.1991) verfügt, bewegt sich auf der Munizipebene im Jahr 1991 zwischen 48% (Fortaleza), 56% (Teresina) und 97% (Abb. 4.1.5.2). Dieser Armutsindex zeigt in der Entwicklung von 1970 bis 1980 eine Verringerung der Armut vor allem in den metropolitanen Städten auf 60 (Fortaleza) bis 70% des Wertes von 1970 (Teresina), auf dem Land hingegen nur auf 85-90%. Zwischen 1980 und 1991 schlägt auch hier die gesamtbrasilianische Krise durch und es zeigt sich eine Stagnation, bzw. Verschlechterung der Lage in Fortaleza.

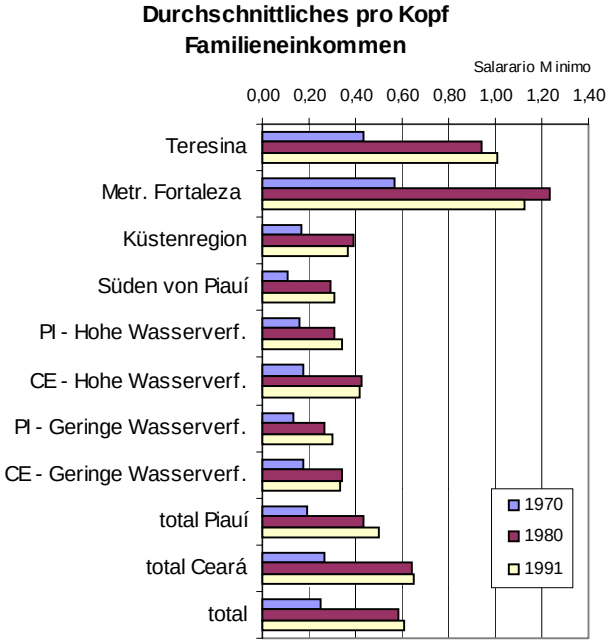


Abb. 4.1.5.1: Durchschnittliches pro Kopf Einkommen in Salario Minimo, 1991 (PNUD et al., 1998)

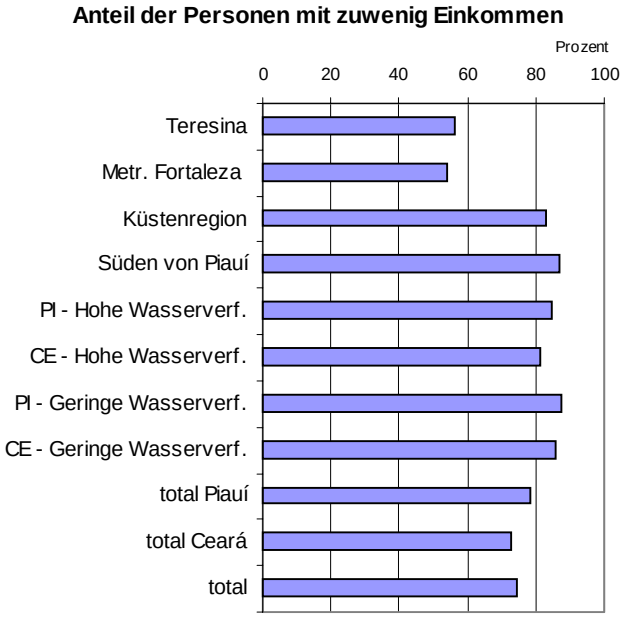


Abb. 4.1.5.2: Anteil der Personen mit zuwenig Einkommen (Prozent), 1991 PNUD et al., 1998)

Bei der **Bildungsversorgung** der Bevölkerung über alle Schulangebote bewegt sich der Index im Jahr 1996 zwischen 0,43 und 1, über alle Szenarioregionen hinweg liegt er bei ca. 0,75, nur der Sertão in Piauí weicht mit 0,63 weiter nach unten ab. Man kann also sagen, dass eine Grundversorgung an Bildung mittlerweile zumindest in allen Szenarioregionen möglich ist.

Ganz anders sieht das Bild aber beim höheren Schulwesen aus (ab Segundo grau): Lediglich Teresina und Fortaleza bieten eine größere Anzahl an Schulplätzen in diesem Bereich. Schülern, die weiterführende Schulen besuchen wollen, bleibt in aller Regel nichts anderes übrig, als in die urbanen Zentren zu migrieren, die auch die Hauptabnehmer höherer Bildung sind (Abb. 4.1.5.3).

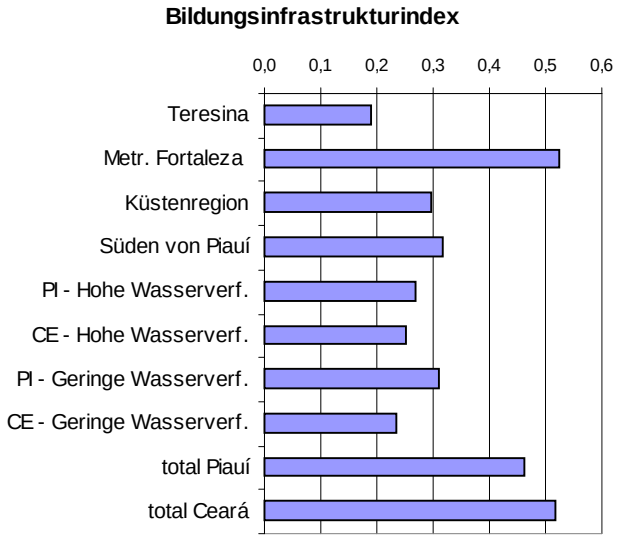


Abb. 4.1.5.3: Bildungsinfrastrukturindex für Angebote des höheren Schulwesens 1996. (IBGE, 1997b)

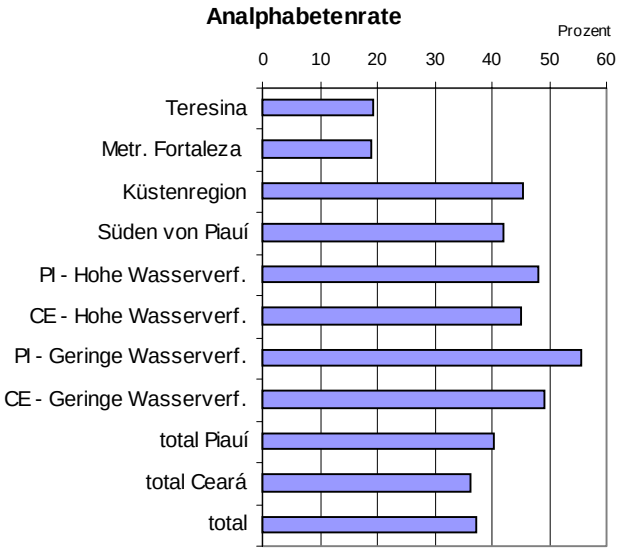


Abb. 4.1.5.4: Analphabetenrate der über 15 jährigen Bevölkerung 1991. (PNUD et al., 1998)

Untersucht man das **durch Bildung erworbene Humankapital**, so sieht man das durch die Verteilung der Bildungsinfrastruktur vermittelte Bild bestätigt. Während 8% der Bevölkerung in Fortaleza und Teresina im Jahr 1991 über mehr als 11 Jahre Schulbesuch verfügen, sinkt der Anteil auf dem Land auf teilweise weit unter 2% ab. Im Vergleich zwischen den Bundesstaaten schneidet Ceará mit 3,7% gegenüber Piauí mit 2,5% besser ab. Das gleiche Bild zeigt sich bei der durchschnittlichen Anzahl der Schuljahre der über 25jährigen Bevölkerung.

Fortaleza und Teresina kommen im Jahr 1991 auf ca. 5,5%, während sich die ländlicheren Regionen bei ca. 2 Jahren bewegen.

Demzufolge ist die Analphabetenrate auf dem Land im Jahr 1991 mit bis zu 55% der über 15jährigen Bevölkerung immer noch sehr hoch. Es ist aber zu erwarten, dass sich die Investitionen in die Grundbildung Jugendlicher in einer ab 1991 sinkenden Rate bemerkbar machen werden. Neuere Zahlen liegen allerdings noch nicht vor (Abb. 4.1.5.4).

Zumindest bei älteren Menschen muss daher auf dem Land von einem Entwicklungshemmnis durch mangelnde Bildung ausgegangen werden.

Einen Index für die **Gesundheitsinfrastruktur** zu erstellen, ist auf der Munizipebene sehr schwierig, da die Daten von Einrichtungen auf dem Land (Gesundheitsposten) mit denen in der Stadt nicht zu vergleichen sind. Ein allgemeinerer Index der Ärzte pro 1000 Einwohner konnte bisher aufgrund der Datenlage nicht erstellt werden. Auch ein solcher Index hätte das Problem, dass er die Ausstattung nicht angemessen berücksichtigen würde.

Wir beschränken uns daher übergangsweise zunächst auf die Darstellung der Verteilung der Kindersterblichkeit, die neben Umweltfaktoren und dem Wissen der Eltern vor allem durch die Gesundheitsinfrastruktur determiniert wird und den Ausgaben pro Person im Gesundheitswesen.

Mit 42 Toten pro 1000 lebend geborenen Kindern steht Teresina eindeutig am besten dar, gefolgt von Fortaleza mit 71 Toten (Abb. 4.1.5.5). Der Abstand von Fortaleza zu den ländlicheren Munizipien ist bei diesem Indikator bei weitem nicht so groß; der Süden Piauís steht sogar besser dar. Hier ist allerdings zu vermuten, dass sich die vielfach bessere Umweltbilanz infolge der niedrigen Siedlungsdichte auf dem Land bemerkbar macht. Auch bei den Gesundheitsausgaben je Person liegt Teresina weit vor Fortaleza (Abb. 4.1.5.6). Im wesentlichen verhalten sich die Ausgaben im Gesundheitswesen umgekehrt proportional zur Kindersterblichkeit. Allerdings ist auffällig, dass die Gesundheitsausgaben in Piauí ein Vielfaches dessen betragen, was in Ceará für Gesundheit ausgegeben wird

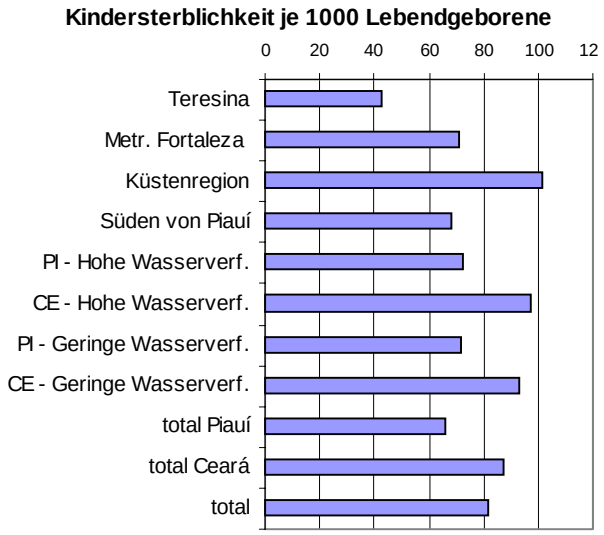


Abb. 4.1.5.5: Kindersterblichkeit (je 1.000 Lebendgeborene), 1991 (PNUD et al., 1998).

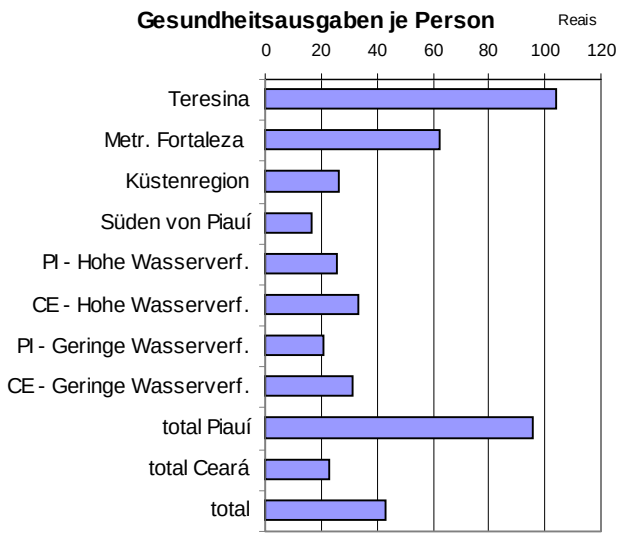


Abb. 4.1.5.6: Ausgaben im Gesundheitsdienst je Person 1996 (DATASUS, 1998).

Migration

Migration ist eine Funktion des Abwägens verschiedener Adaptationsstrategien des Akteurs zur Verwirklichung von Ansprüchen an Lebensqualität. Sie ist der Ausdruck der Erwartung, einen Anspruch an Lebensqualität an einem anderen Ort besser verwirklichen zu können in Verbindung mit der Einschätzung, dass innovative Handlungsstrategien am Wohnort ohne Perspektive sind. Die Diskrepanz zwischen Anspruch und 'Erfüllungspotential' kann Folge von sich verschlechternden Lebensbedingungen oder eines gewachsenen Anspruchs sein.

Die Betrachtung der 'objektiven' Lebensbedingungen erlaubt daher nur ein eingeschränktes Urteil über die tatsächlich erlebte 'subjektive' Lebensqualität[3]. Aussagen der Betroffenen über ihre Erwartungen an ihre Umwelt sowie über ihre Fähigkeiten, mit Veränderungen umzugehen, geben Auskunft darüber, inwieweit Erwartungen durch die aktuellen Gegebenheiten erfüllt werden oder nicht.

Die trotz des jugendlichen Altersaufbaus geringere Bevölkerungsentwicklung Piauís und Cearás gegenüber dem brasilianischen Durchschnitt ist der relativ hohen Netto-Migration aus beiden Staaten heraus geschuldet. Zwischen 1980 und 1991 betrug das **jährliche Bevölkerungswachstum** in Ceará 1,7% und in Piauí 1,73%. Zwischen 1991 und 1996 fiel die jährliche Wachstumsrate gegenüber dem Zeitraum zuvor erheblich und lag für Piauí bei nur noch 0,69% und Ceará bei 1,35%. Insgesamt ist die Netto-Migrationsrate zwischen 1991 und 1996 gegen-

[3] Ergebnisse zur subjektiven Lebensqualität finden sich bei der Darstellung des soziokulturellen Teilmodells im Statusbericht der AG Soziokulturelle Analysen, Band 2.

über dem Zeitraum 1986 – 1991 in Ceará um rund ein Drittel zurückgegangen, wogegen sie in Piauí leicht zugenommen hat. Vorwiegende Zielregion der MigrantInnen aus beiden Staaten ist der Südosten Brasiliens. Leider wurde zur Volkszählung 1996 nicht abgefragt, wie sich die interne Wanderung innerhalb der Staaten zwischen ländlichem und städtischen Raum vollzog. Analysen aus dem Zeitraum zwischen 1986 und 1991 und auch die oben beschriebene Zunahme im Urbanisierungsgrad belegen allerdings, dass ein Großteil der Wanderungen als Landflucht zu definieren sind.

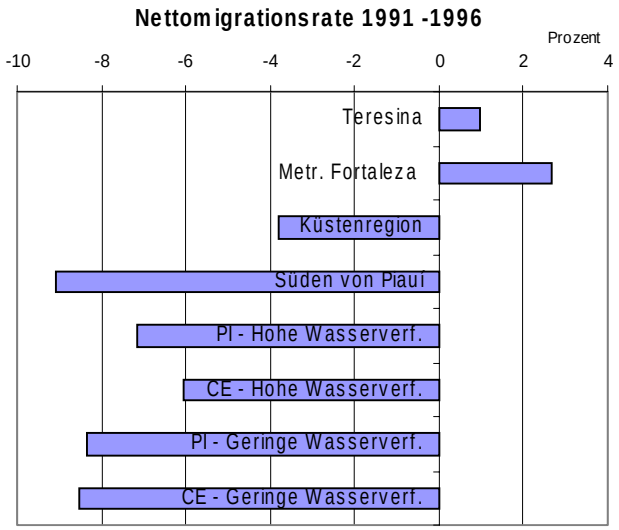


Abb. 4.1.5.7: Nettomigrationsrate aus dem Untersuchungsgebiet heraus 1991 bis 1996 bezogen auf die Bevölkerung von 1991.

Vergleicht man die **Nettomigrationsraten der Szenarioregionen** miteinander, so weisen nur Teresina und der Großraum Fortaleza Netto-Immigration auf, während alle anderen Regionen Netto-Abwanderungen verzeichnen müssen. Unseren Berechnungen zufolge nahm Teresina im Zeitraum 1991 – 1996 ca. 6000 Personen mehr aus dem Land auf, als es abgegeben hat. Die Zahl der Zuwanderungen in diesem Zeitraum betrug 44000. Fortaleza hatte einen Nettozuwachs von 46000 Personen im gleichen Zeitraum (87000 Zuwanderungen). Von den nichtmetropolitanen Regionen wies das Litoral mit 4% Nettoabwanderungen den niedrigsten Wert auf, während der Süden Piauís und der Sertão in Ceará und Piauí eine Abwanderung von über 8% in den 5 Jahren von 1991 bis 1996 verzeichnen (Abb. 4.1.5.7).

Die **kleinräumigere Land-Stadt-Migration** kann als eine aktuelle Überlebensstrategie interpretiert werden.[3] Da die Landwirtschaft nicht genug **Einkommen** einbringt, versucht die ländliche Bevölkerung durch **Kleingewerbe und Handel** (häufig im informellen Bereich) ein (zusätzliches) Einkommen im städtischen Raum zu sichern.

Die Familie spielt in der Region eine ungebrochen große Rolle. **Die Migration begründet sich oftmals in der Versorgung der Familie.** So ist es üblich, dass Migranten (insbesondere natürlich die Familienväter) einen Teil ihres Einkommens als Transferleistung in die Heimatregion überweisen. Gleichzeitig stellt die Familie ein Garant dar, wenn man zur Finanzierung der Abwanderung Geld leihen musste. Da die zunächst kurzfristig geplante Erwerbsarbeit im Süden oder in der Stadt häufig zum Dauerzustand wird, findet eine gewisse Entfremdung gegenüber der Familie statt, die zuweilen auch in Trennung und Gründung einer neuen Familie im Zuzugsort mündet.

3 Das IBGE definiert städtische Zentren wie folgt: a) solche die Städte; b) Dörfer mit mehr als 2.000 EW oder c) isolierte städtische Zonen. Demnach besteht der rurale Raum nur aus Dörfer mit weniger als 2.000 EW. (IBGE, 1991)

Tab. 4.1.5.5: Urbanisierungsgrad in der Untersuchungsregion 1960 bis 1996

Region	1960	1970	1980	1991	1996
Brasilien	44,67	55,92	67,59	75,59	78,36
Nordosten	33,89	41,81	50,46	60,65	65,21
Piauí	23,60	32,34	42,56	52,93	58,21
Ceará	33,70	40,32	53,48	65,35	69,21

Quelle: IBGE, 1997b

Tab. 4.1.5.6: Bevölkerungsentwicklung in den Metropolen Fortaleza und Teresina 1970 bis 1996 (Einwohner; jährliches Bevölkerungswachstum)

	1970	1980	1991	1996
Metropole Fortaleza			2.307.017	2.582.820
Jährliches Wachstum in % zum Vorzeitraum				2,28
Munizip Fortaleza	857.980	1.307.611	1.768.637	1.965.513
Jährliches Wachstum in % zum Vorzeitraum		4,30	2,78	2,13
Teresina	220.487	377.774	599.272	655.473
Jährliches Wachstum in % zum Vorzeitraum		5,53	4,28	1,81

Quelle: IBGE, 1997b

Der **Urbanisierungsgrad** ist in Brasilien zwischen 1960 und 1996 von 45% auf 78% gestiegen. In Ceará lebte 1960 nur rund ein Drittel der Bevölkerung im städtischen Raum, während es 1996 schon zwei Drittel sind, was zum großen Teil dem Anwachsen der Metropole Fortaleza geschuldet ist, die allein im Zeitraum von 1991 bis 1996 um jährlich 2,23% angewachsen ist. Im gleichen Zeitraum nahm die Verstädterung in Piauí von 24% auf 58% zu (vgl. Tab. 4.1.5.5 und Tab. 4.1.5.6).

4.2 Schnittstellen zwischen den Subsystemen

Die kurze, übergreifende Beschreibung des momentanen Zustandes der natürlichen und sozialen Subsysteme in den Bundesstaaten Piauí und Ceará macht zweierlei deutlich:

1. Das gewählte Untersuchungsgebiet ist in einem hochlabilen Systemzustand, der schon in der Vergangenheit zu mehr oder weniger deutlichen Reaktionen durch soziale Ausgleichsprozesse geführt hat.
2. Aufgrund des globalen (klimatischen und sozioökonomischen) Wandels ist, falls keine Gegensteuerung eintritt, in näherer Zukunft mit noch tiefgreifenderen Systemreaktionen zu rechnen

Aus der Beschreibung des Ist-Zustandes der Subsysteme lassen sich außerdem die direkten Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Subsystemen erschließen. Die Tabelle 4.2.1 verdeutlicht, dass die sozialen Systeme (Staat, Gemeinden, Familien) auf alle anderen Subsysteme (ausgenommen das Klima) einen überragenden, direkten Einfluss haben und dass sowohl die Landnutzung als auch das Subsystem Wasser in hohem Masse von den anderen drei Subsystemen Klima, Ökonomie und soziale Systeme abhängen. Andererseits erkennt man, dass die Grundbedürfnisse für das Sozialwesen (Wasser, Nahrung, Gesundheit, Arbeit und Einkommen) vielfach von Wirkungsketten abhängig sind, die vom Klima über das Wasser, die Landnutzung und die Ökonomie gehen. Das Klima steht als dasjenige Subsystem, das aufgrund des Maßstabes der Betrachtung von keinem anderen Subsystem (außer in geringem Masse durch die Landnutzung) direkt beeinflusst wird.
Die modellhafte integrierte Abbildung des Gesamtsystems mit seinen Wechselwirkungen und Wirkungsketten steht im Mittelpunkt der Arbeiten des Verbundprojektes. Das methodische Vorgehen dazu sowie erste Modellergebnisse soll in den folgenden beiden Kapiteln am Beispiel des mesoskaligen Modells MOSDEL (Model for sustainable development of land use) für die Region Picos und am großskaligen integrierten Modell SIM (Semi-arid integrated Modell) für die Gesamtfläche der beiden Bundesstaaten beschrieben werden.

Tab. 4.2.1: Übersicht über die modellrelevanten, direkten Wechselwirkungen zwischen den Subsystemen

	Klima	Wasser	Naturraum	Landnutzung	Ökonomie	Soziale Systeme	← wird beeinflusst von ↓
Klima	X	Niederschlag, Oberflächenabfluss, Grundwasserneubildung, Verdunstung	Bodenbildung Erosion	Pflanzenwachstum, Pflanzeneignung, Erträge, Bewässerungsbedarf			Klima
Wasser		X	Versalzung	Pflanzenwachstum, Pflanzeneignung, Erträge, Viehdichte		Trinkwasserversorgung, Gesundheit	Wasser
Naturraum		Grundwasserleiter, Grundwasserqualität, Grundwasserneubildung, Oberflächenabfluss	X	Nährstoffe, Schadstoffe, Wasserspeicher, Relief			Naturraum
Landnutzung	Albedo, Verdunstung	Oberflächenabfluss, GW-Neubildung, Schadstoffeintrag, Wasserverbrauch	Degradation, Bodenerosion Biodiversität	X	Einkommen	Nahrungsmittelversorgung, Arbeitskräftebedarf,	Landnutzung
Ökonomie		Wasserpreis, Wasserverbrauch Industrie, Investitionen in Wasserinfrastruktur, Wasserverschmutzung	Flächenverbrauch (Industrie, Straßen)	Erzeugerpreise, Kapitalverfügbarkeit, Marktzugang, Außerlandwirtschaftliches Einkommen	X	Einkommen, Verschuldung	Ökonomie
Soziale Systeme		Wassergesetze, öffentliche Investitionen in Bewässerung u. Wasserversorgung, Bevölkerungswachstum	Flächennutzung	Infrastruktur, Wasserpolitik, Besitzverhältnisse, Betriebsgröße, Arbeitskräfteangebot, Bildung, Zugang zu Information, Tradition, Hilfsprogramme, Beratung, Subventionen, Ansiedlungsprojekte	Bevölkerungswachstum, Migration, Besitzverhältnisse, Betriebsgröße, Erbrecht, öffentliche Subventionen, Infrastruktur, Bildung	X	Soziale Systeme
↑ beeinflusst →	Klima	Wasser	Naturraum	Landnutzung	Ökonomie	Soziale Systeme	

5 Das integrierte Landnutzungsmodell MOSDEL (Model for Sustainable Development of Landuse)

5.1 Kurzcharakterisierung der Modellregion Picos

Lage

Die WAVES-Untersuchungsregion Picos liegt im Bundesstaat Piauí ca. 200 km südwestlich der zweiten WAVES-Untersuchungsregion Tauá (Ceará) und ca. 300 km südöstlich der Landeshauptstadt Teresina (Piauí). Zu ihr zählen vier Munizipien (Gemeinden – entsprechend den Verwaltungsgrenzen von 1996) entlang des Guaribas-Flusstales (São João da Canabrava, Bocaina, Santana do Piauí sowie das namengebende Munizip Picos - zum genauen Raumbezug der Untersuchungsregion siehe Kap. 5.4). Die Ortschaft Picos liegt zudem an einem Kreuzungspunkt überregional bedeutsamer Straßen (Abb. 5.3).

Klima

Die Picos-Region gehört zur semiariden Klimazone des Nordostens. Die langjährigen mittleren Jahresniederschlagswerte im Munizip Picos liegen bei ca. 700 mm/a, die sich auf vier Hauptregenmonate verteilen (Januar – April, vgl. Abb. 5.1). Demgegenüber steht eine mittlere jährliche Evapotranspiration von ca. 2.000 mm. Eine räumliche Differenzierung der Niederschläge kann mit den derzeitig verfügbaren Daten nicht modelliert oder nachgewiesen werden.

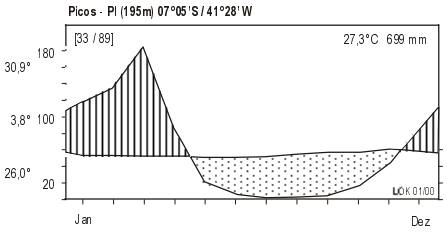


Abb. 5.1 Klimadiagramm Picos

Die Interpretation der Vegetation lässt jedoch eine Zunahme der Niederschläge an den ostwärts (Luv) zugewandten Schichtstufenkanten der Chapadas (Hochflächen) im Westen vermuten.

Geologie, Böden und Hydrologie

Geologisch befindet sich das Untersuchungsgebiet im südöstlichen Randbereich des sedimentären Parnaíba-Beckens. Die liegende unterdevonische Serra Grande Formation [Ssg] bildet mit 100-200 m Mächtigkeit den Hauptaquifer, der von der tonig-schluffigen Pimenteiras Formation [Dp] überlagert wird. Darüber folgt die Cabeças-Formation [Dc], die ebenfalls einen guten Grundwasserleiter darstellt (Abb. 5.2)

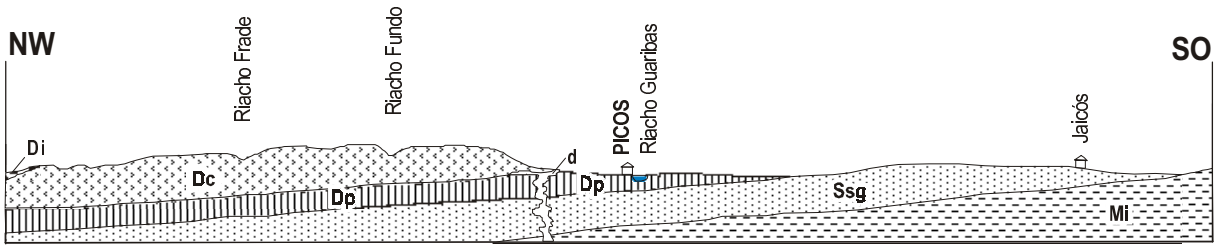


Abb. 5.2: Schnitt durch die geologischen Formationen bei Picos (SUDENE, 1968)

Von stark verwitterten Decksandschichten über Sand-, Schluff- und Tonsteinen bis hin zu phonolitischem Ergussgestein sind annähernd alle Formationen und Ausgangssubstrate vorhanden, welche in Piauí für die Bodenbildung von Bedeutung sind. Entsprechend sind in dieser Region auch alle in Piauí bedeutenden Bodenklassen (Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho-

Amarelo Distrófico und Eutrófico, Podzólico Vermelho-Amarelo Concrecionário, Solo Aluvial) vertreten.
Aufgrund der langen Trockenzeiten gibt es keine natürlicherseits perennierenden Oberflächengewässer. 1997 wurde der Stausee Bocaina fertiggestellt, welcher vom Fluss Guaribas, der zentralen Entwässerung der Region, gespeist wird (s. Kap. 5.8 WARIG).

Naturraum und Landnutzung

Die Untersuchungsregion lässt sich in drei Landschaftsräume gliedern: die Hochebenen der ‚Chapadas', Zwischenverebnungen (‚Baixios') sowie die weiträumigen Talebenen. Sie stellt aufgrund ihrer Randlage im Westen des Verbreitungsgebietes der Caatinga im Vergleich zu anderen Regionen innerhalb des Bundesstaates Piauí eine, vegetationskundlich gesehen, sehr heterogene Region dar. Wechselnde Substrate, Höhenlagen und Niederschlagsverteilungen ergeben ein Mosaik unterschiedlicher natürlicher Vegetationstypen, welche von den Caatingaformen (‚trocken') bis hin zu Übergangsformen zum Cerrado im Westen (‚feucht') reichen.
Die Region Picos findet sich entsprechend am Übergang der Agroökologischen Zonen „Meio-Norte" zum „Sertão". Die Möglichkeiten der Landnutzung sind der Heterogenität des Naturraums entsprechend stark diversifiziert. Aufgrund der relativ guten Nutzbarkeit fossiler Grundwässer sowie von Flusswasser vor allem im Guaribastal, sind selbst in der Trockenzeit günstige Anbaubedingungen für Intensivkulturen, zumindest entlang der Flüsse vorhanden. Im Gegensatz zur Referenzregion Tauá hat in der Region Picos die Pflanzenproduktion in wirtschaftlicher Hinsicht fast eine gleichrangige Bedeutung wie die sonst im Sertão dominante Viehzucht erlangt. In jüngerer Zeit entwickelt sich Picos zudem zu einem Schwerpunkt der Honigproduktion von gesamtbrasilianischer Bedeutung.
Den vorherrschenden drei Landschaftstypen können bestimmte Betriebstypen zugeordnet werden: Auf der Chapada befinden sich die größeren Betriebe mit den Produktionsschwerpunkten Cashew, Maniok und Cowpea in der Regel im Regenfeldbau sowie Viehzucht (extensiv). Die Betriebe auf der Chapada mit Anteil an Fläche in den Zwischenverebnungen (Baixios) sind im Schnitt etwas kleiner, intensivere Kulturen wie Mais können angebaut werden, die Viehbestände sind kleiner. In den Tälern mit guter Wasserversorgung und relativ guten Böden finden sich u.a. kleine Gartenbaubetriebe, welche bewässerten Gemüsebau (Tomate, Paprika, Zwiebeln, Knoblauch, Korianderkraut, Zuckermais, Bananen etc.) mit Marktorientierung betreiben.
Der Anteil der Tierproduktion am landwirtschaftlichen Gesamtproduktionswert liegt knapp über der Hälfte. Im näheren Umkreis der Stadt Picos sind auch Milchviehbetriebe angesiedelt.
Sowohl die Anzahl der Betriebe (7.376) als auch deren erwirtschafteter Gesamtproduktionswert (R$ 12 Mio.) entspricht in etwa einem piauiensischen Anteil von 3,5%. Sie verteilen sich jedoch auf nur ca. 1% der piauiensischen (100.000 ha) Betriebsfläche (IBGE, 1997c). Dies lässt bereits vergleichsweise kleine und produktive Betriebe vermuten.

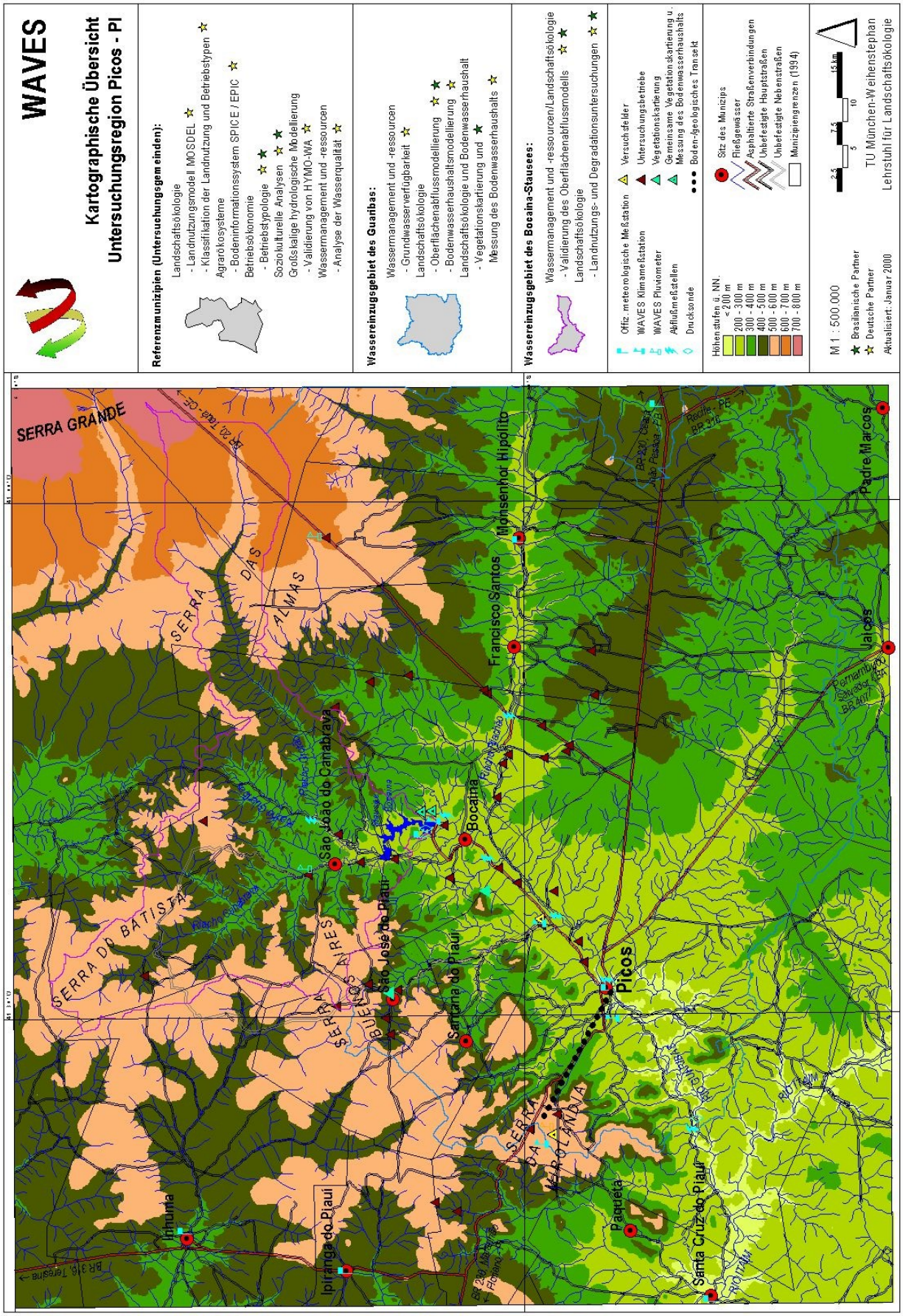


Abb. 5.3: Projektübersichtkarte von Picos mit räumlicher Verteilung der Untersuchungen der einzelnen Arbeitsgruppen

Tatsächlich sind knapp 80% der Betriebe kleiner als 10ha. Diese beanspruchen jedoch nur knapp 15% der landwirtschaftlichen Gesamtfläche der vier Munizipien. Großbetriebe mit einer Wirtschaftsfläche über 100ha stellen weniger als 2 % der Betriebe, haben jedoch einen Anteil von fast 50% der bewirtschafteten Gesamtfläche (Piauí mehr als Dreiviertel Flächenanteil). Obwohl darin die allgemeinen Disparitäten der Grundstücksverteilung im Nordosten Brasiliens bereits deutlich ablesbar werden, ist die Dominanz der Großgrundbesitzer in der Region Picos etwas abgeschwächt.
Der Technisierungs- und Kapitalisierungsgrad der Landwirtschaft in der Region Picos muss als sehr gering bezeichnet werden. Dünger und Pflanzenschutzmittel kommen meist nur in den Gemüsebaubetrieben zum Einsatz. Den 7.376 Betrieben der vier Gemeinden standen 1996 insgesamt 57 Traktoren zur Verfügung, davon 56 im Munizip Picos. In der Regel werden die Felder noch in Handarbeit bestellt.
Die Vermarktung der landwirtschaftlichen Produkte erfolgt vor allem im Hinterland über eine Kette von Zwischenhändlern, mit entsprechenden Einnahmeverlusten der Erzeuger. Die Produkte werden auf die Märkte von Picos, Teresina und Fortaleza geliefert. Der Direktvermarktungsanteil (in Picos) steigt mit zunehmender Marktnähe des Betriebes.

Sozioökonomische Kenngrößen

In den vier Untersuchungsgemeinden wohnten 1996 insgesamt 90.744 Einwohner (Picos 76.194, Bocaina 4.008, Santana 3.656, São João da Canabrava 6.886) in 21.723 Haushalten auf 2.928km^2 . Dies entspricht einer durchschnittlichen Dichte von ca. 31 Personen/km^2 - diese sinkt bis zu bei 8,76 P./km^2 im Munizip São João da Canabrava). 38.886 Personen (42,85%) lebten davon im ländlichen Raum.
Die Lebenserwartung liegt bei 59,7 Jahren (Piauí 60,9 J.). Noch im ersten Jahr sterben 6,9% der Neugeborenen (P. 6,5%). Die Analphabetenrate liegt bei 39,4%, in den ländlichen Bereichen jedoch z.T. deutlich über 50% (P. 40,5%). Das durchschnittliche Familieneinkommen erreichte in den ländlichen Munizipien ein knappes Drittel des gesetzlich festgelegten Mindestlohnes, im Munizip Picos kommt es immerhin auf zwei Drittel (P. 50%). Das bedeutet, dass z.B. im Munizip São João da Canabrava mehr als 90% der Personen mit weniger als der Hälfte des gesetzlich festgelegten Mindesteinkommen auskommen mussten, in Picos waren davon ‚nur' knapp 70% betroffen (der Landesdurchschnitt liegt bei ca. 78%).
Der Anschlussgrad an die öffentliche Wasserversorgung beträgt 48,65% (im ländlichen São João da Canabrava jedoch nur 19,73%). An unterschiedliche Abwasserentsorgungseinrichtungen sind ca. 46,1% der Bevölkerung angeschlossen. Kläranlagen gibt es bislang keine in der Region. [PNUD, et al.1998, IBGE, 1997d, 1998b]

5.2 Stellung und Bedeutung innerhalb des Gesamtprojektes

MOSDEL wurde vom FB Landschaftsökologie als eine der drei entscheidenden Integrationsebenen des WAVES-Programms auf der Mesoskala für die WAVES Focusregion Picos (Piauí) entwickelt (s.a. Kapitel 5.3 u. 5.4). Einzeldisziplinär errechnete bzw. erhobene Punkt- und Modelldaten werden hier aggregiert und systematisch in die Fläche gebracht.
MOSDEL ist ein Simulationsmodell, welches insbesondere die flächenwirksamen Beziehungsgefüge zwischen natürlichen Standortfaktoren sowie Wasser- und Landnutzungsmanagement auf regionaler Ebene beschreibt und darstellt. Es basiert deshalb auf einem Geographischen Informationssystem (GIS).
Im Verhältnis zu den übrigen Integrationsebenen von WAVES zeichnet sich das regionale Simulationsmodell durch eine relativ hohe Flächenpräzision aus. Dafür lassen sich die Ergebnisse bislang nur beschränkt dynamisieren. Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt in der Regel in Form von Karten oder Graphiken. Durch den relativ überschaubaren Abstraktionsgrad der hier gewählten Integrationsebene sowie der Visualisierungsmöglichkeiten (mittels GIS) ist eine gute

Vermittelbarkeit von komplexen Zusammenhängen gewährleistet. Prozesse der großskaligen Modellierung (z.B. der Abflüsse) können hierdurch auf kleinerer Skala detailliert simuliert und zur Validierung genutzt werden.

5.3 MOSDEL - Idee und Ziele

Das Oberziel des WAVES-Programmes ist die Erarbeitung von Konzepten für nachhaltige Lebensqualität im semiariden Nordosten. MOSDEL soll durch effiziente Nutzung verfügbarer Daten, d.h. trotz schlechter Datenverfügbarkeit mit vertretbarem Erhebungsaufwand die Entscheidungssicherheit bzgl. der planerischen Optimierung einer nachhaltigen Ressourcennutzung unter sich verändernden klimatischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen (‚Global Change') erhöhen. Während der ersten Projektphase des WAVES-Programmes wurde der Prototyp eines Landnutzungsmodells entwickelt, welcher hierzu Ansätze auf Modellebene liefert.

Hierfür mussten die komplexen Wirkungszusammenhänge der naturräumlichen Rahmenbedingungen einerseits, sowie der sozioökonomischen Verhältnisse andererseits im Projektgebiet analysiert werden. Insbesondere waren jedoch die entscheidenden Wechselwirkungen zwischen natürlichen und anthropogenen Systemen zu identifizieren und sinnvolle Steuerungsmöglichkeiten für das Ressourcenmanagement aufzuzeigen. Unter Berücksichtigung der beschränkten Datenlage in Nordost-Brasilien erschien es sinnvoll, die einzelfachlichen Ergebnisse des Projektverbundes im Referenzgebiet Picos in einem regionalen Simulationsmodell zur Landnutzung zu aggregieren. Mit Hilfe des integrativen, flächenbezogenen, GIS-basierten Ansatzes von MOSDEL werden die relevanten räumlichen Wirkungsbeziehungen zwischen natürlichen Standortfaktoren sowie Land- und Wassernutzungsmanagement identifizierbar und über den gesamten Untersuchungsraum quantifizierbar. Das Oberziel des Forschungsverbundes wird auf die regionale Untersuchungsregion als nachhaltige Eigenentwicklung der ländlich geprägten Region Picos übertragen. Hierfür dient in einer ersten Annäherung die Gegenüberstellung der zentralen Modellzielgrößen 'landwirtschaftliche Erträge' sowie 'regionaler Bedarf' bzw. Wasserbedarf und Wasserdargebot unter Berücksichtigung gesetzter Umweltqualitätsziele. Ökonomische Aspekte (Familieneinkommen pro Betriebstyp, Arbeitskräftebedarf etc.) sollen in der nächsten Projektphase noch stärker berücksichtigt werden. Der Einbezug von Speichergrößen (Grundwasser, Stausee, Legerkapazitäten etc.) trägt dazu bei, nachhaltige Lebensqualität trotz außergewöhnlicher klimatischer Schwankungen zumindest für ausgewählte Parameter berechenbar zu machen.

Regionale Auswirkungen, d.h. Neubilanzierungen, welche sich sowohl durch integrierte Szenarien (z.B. 'Global change') als auch durch veränderte Wasser- und Landnutzungsmethoden ergeben, können simuliert werden.

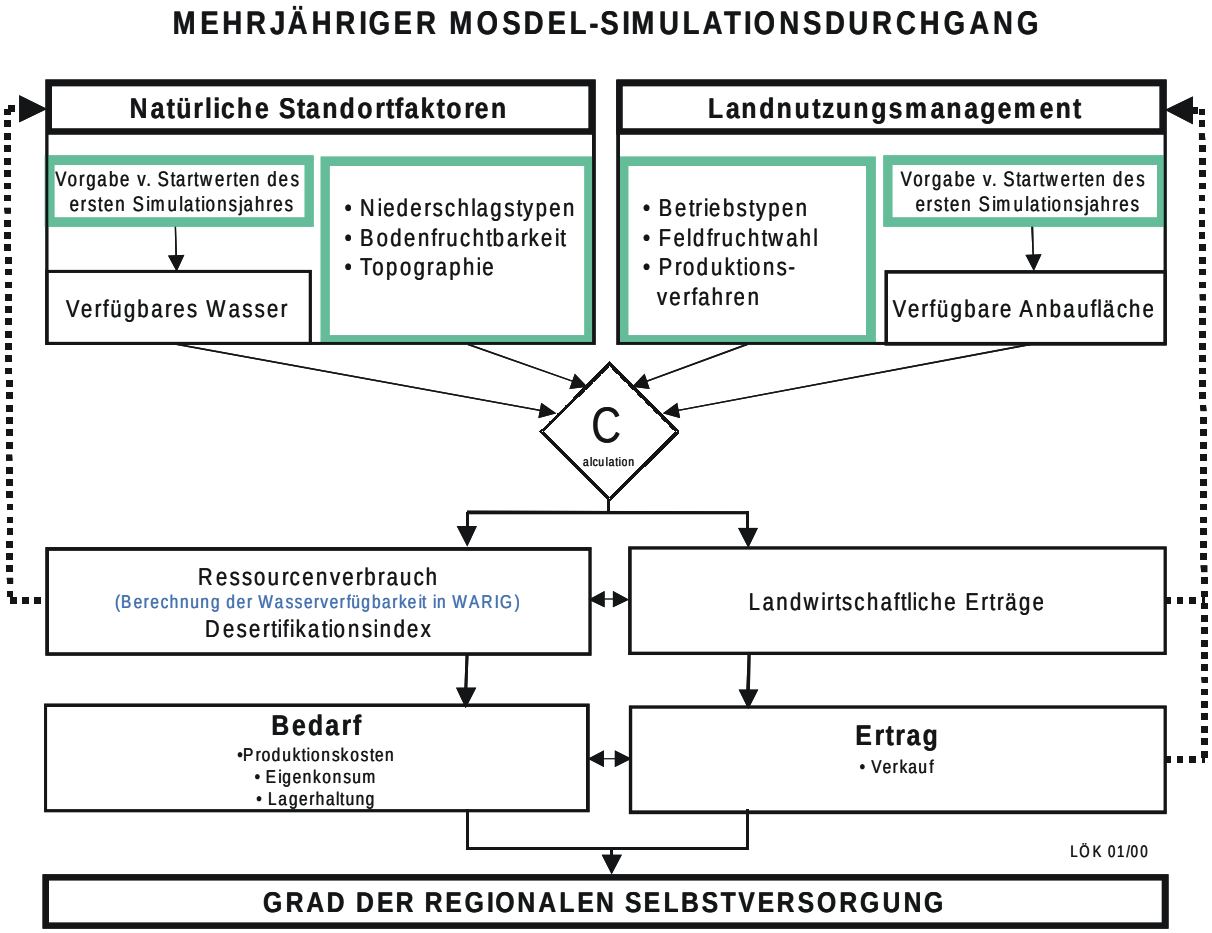


Abb. 5.4: Funktionsschema von MOSDEL

5.4 Raum- und Zeitdimension von MOSDEL

Der relevante Flächenbezug wurde mit den auf regionaler (Meso-) und Punktebene (Mikroebene) arbeitenden Arbeitsgruppen des Referenzgebietes abgestimmt (Übersichtskarte Abb. 5.3). Relevante Eingabeflächen sind hierbei:

1. Das Wassereinzugsgebiet des Stausees Bocaina dient vor allem der Validierung der Oberflächenabflussmodellierung. Gleichzeitig wird mit dem Stausee der entscheidende und überprüfbare Oberflächenspeicher der Region einbezogen.
2. Das Wassereinzugsgebiet des Rio Guaribas bis zum Messpunkt Angical (südlich Picos) dient zur Simulierung der Grundwasserverfügbarkeit.
3. Munizipiengrenzen mit den 1996 gültigen Gemeindegrenzen der genannten vier Munizipien. Alle Munizipien liegen in der Mikroregion Picos (Piauí-Brasilien). Die gewählte Abgrenzung macht Zeitreihen administrativer Vergleichsdaten von 1985 trotz zwischenzeitlicher Gemeindereformen möglich.

Die benannten Munizipien stellen gleichzeitig auch die gemeinsame Ausgabefläche dar und ermöglichen Vergleiche zu den Simulationsergebnissen des großskaligen Integrierten Modells
Das Wassereinzugsgebiet des Stausees hat eine Größe von ca. 1.000 km^2. Die Simulationsregion umfasst insgesamt ca. 3.000 km^2. Die Deckungsunterschiede zwischen den Grenzen der Wassereinzugsgebiete und den Gemeindegrenzen werden jeweils bei der Modellierung berücksichtigt.
Die Aussageschärfe des integrierten Modells ist entsprechend den Eingangsdaten auf den Maßstab 1:100.000 ausgelegt. Das der Simulationsberechnung zugrunde liegende Flächenraster hat die Größe eines Hektars (100 x 100 m).

Als Bezugszeitraum der Eingabedaten wurde die Vegetationsperiode Nov. 1995 – Okt. 1996 festgelegt. Die Prozessauflösung auf unterster Aggregationsebene sind Tagesschritte (Niederschläge, Abfluss). Um typische Niederschlagsabfolgen zu integrieren, bietet die Benutzeroberfläche des Modells eine mehrjährige Simulationsfrequenz an. Der Zeitraum eines Jahres ist die entsprechende Zeitgröße für Zwischenbilanzen und Parametereinstellungen.

5.5 Methoden

MOSDEL verknüpft und integriert Ergebnisse aus Bewertungsverfahren und Modelläufen unterschiedlicher Fachbereiche auf regionaler Ebene und bringt sie in einen räumlichen Bezug.
Dazu müssen diese einzelfachlichen Ergebnisse, soweit sie auf anderer räumlicher Ebene basieren, zwingend auf die räumliche Ebene von MOSDEL übertragen, d. h. skaliert werden. Hierbei kommen sowohl bottom-up- als auch top-down-Ansätze zur Anwendung.
Die bottom-up Methode wird zur Aggregation und Extrapolation punktbezogener Fachbereichsergebnisse angewandt (AG Betriebsökonomie, AG Pflanzenernährung, etc.). Die top down-Methode wurde beispielsweise bei der Disaggregation der Bodenkarte von Piauí (M1:1Mio.) angewandt. Skalierte Ergebnisse werden, soweit möglich, entsprechend dem von Root u. Schneider (1995) vorgeschlagenen ‚Strategic Cyclical Scaling' an ausgewählten Testpunkten validiert (Regionalisierte Bodenkarte, Modellierung des Wasserhaushaltes, ‚ground truth' zur Landnutzungsinterpretation aus dem Satellitenbild) und schließlich wieder auf die Gesamtfläche mit erhöhter Datensicherheit extrapoliert.
MOSDEL soll darüber hinaus fallweise Vergleiche großskaliger Modellsimulationen von SIM, bzw. dessen Submodellen ermöglichen.
Bzgl. der Arbeitsmethoden fachdisziplinärer Ergebnisse und Modelle wird auf die Statusberichte der einzelnen Arbeitsgruppen im Band 2 verwiesen.

5.6 Dateninput

Die folgenden Eingabeparameter werden in MOSDEL verwendet:

Klimatische Bedingungen:

- Niederschlagstypen: FB Klimaanalyse und -modellierung

Standörtliche Parameter (Gridraster 100 x 100 m):

- Bodenassoziationen und Terrainkomponenten: AG Bodenkunde, FB Landschaftsökologie
- Landbedeckung: GAF, FB Landschaftsökologie (aus Landsat TM Szene vom 9.7.1996)
- Topografie: LÖK/TK100

Lokale Wasserverfügbarkeit:

- Werte aus WARIG: Grund- und Oberflächenwasserspeicher
  (Modellbeschreibung siehe Abschnitt 5.8.)

Landnutzungssysteme:

- Feldfruchtwahl, Anbaumethoden, AG Pflanzenbau und AG Pflanzenernährung, FB Landschaftsökologie
- Betriebstypen: AG Betriebsökonomie, FB Landschaftsökologie
- Landnutzungs-, Landbedeckungsklassen: Landsat TM, 9.7.96 - Auflösung max. 30m

Verfügbare Anbaufläche:

- Landwirtschaftlich genutzte Flächen: GAF, FB Landschaftsökologie (aus Landsat TM)

Landwirtschaftliche Erträge:

- Potentielle Erträge: AG Bodenkunde, AG Pflanzenbau, AG Pflanzenernährung
- Wasserbedarf in der Landwirtschaft: AG Pflanzenbau, AG Regionalökonomie

Ökonomische Bewertung:

- Erzielbare Preise für landwirtschaftliche Erträge und Aufwand, AG Regionalökonomie
- Betriebskennzahlen, AG Betriebsökonomie, FB Landschaftsökologie

Die nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Charakteristika der im Modell verwendeten Betriebstypen zusammen:

Tab. 5.1: MOSDEL-Betriebstypen und ihre wichtigsten Parameter

	Typ 1	**Typ 2**	**Typ 3**	**Typ 4**	**Typ 5**	**Typ 6**
Standort	Chapada	Chapada	Chapada/ Baixio	Chapada/ Baixio	Tal	Tal
Betriebliche Ausrichtung	marktorientiert	Subsistenz	marktorientiert	Subsistenz	marktorientiert	Marktorientiert, Gartenbau
Betriebsgr.	30 ha	2 ha	17 ha	1,5 ha	6 ha	2 ha
Produktionsverfahren	Technologieeinsatz	Einfach	Einfach, Staubewässerung	Einfach, Staubewässerung	Einfach, Staubewässerung	Technologieeinsatz, Tröpfchenbewässerung
Personen	10	5	10	5	7	7
Angebaute Kulturen	Mais (unbew.) Cowpea (unbew.) Maniok Cashew	Mais (unbew.) Cowpea (unbew.) Maniok	Mais (bew.) Mais (unbew.) Cowpea (unbew.) Maniok Reis Cashew	Mais (unbew.) Cowpea (unbew.) Maniok Reis	Mais (unbew.) Cowpea (unbew.) Reis	Banane Mango Tomate Paprika Mais (bew.) Reis Cowpea (bew.)

5.7 Datenoutput

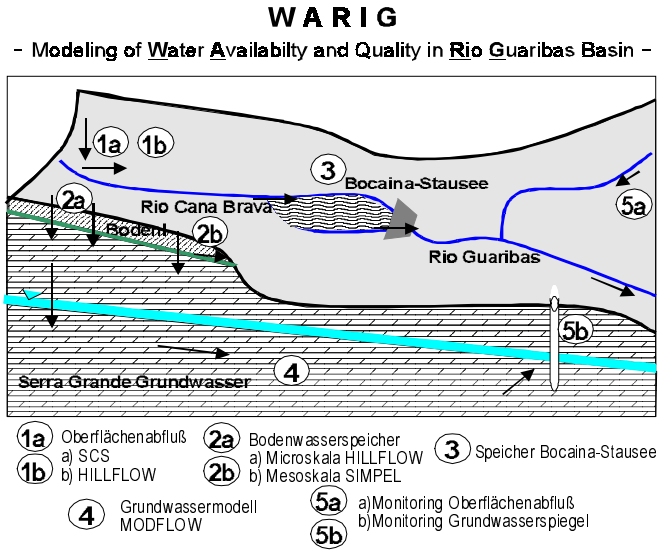
- Veränderungen der regionalen Wasserbilanz (pro Jahr und Gemeinde)
- Ackerbauliche Erträge in t/ha (pro Jahr) sowie t und R$ pro Betriebstyp / Gemeinde
- Veränderung des Familieneinkommens (pro Jahr und Betriebstyp)
- Veränderungen der verfügbaren Anbaufläche durch Degradationserscheinungen (pro Jahr und Gemeinde)

5.8 Beschreibung der in MOSDEL integrierten Modelle

Die Integrationsleistung von MOSDEL liegt in erster Linie auf der Verknüpfung unterschiedlicher fachlicher Daten und Ergebnisse bei gleichem Raumbezug. Hierzu fließen definierte Ergebnisse anderer (Sub-) Modelle ein. Die Rückkopplungen mit diesen sind auf ausgewählte Zeitpunkte und Fragestellungen festgelegt.

WARIG (Modeling of Water Availability and Quality in RIo Guaribas Basin)

Ziel von WARIG ist die flächenbezogene Bilanzierung des Wasserhaushalts der Region Picos. Damit wird für MOSDEL Wasserverfügbarkeit in Abhängigkeit von Landnutzung modellierbar. Auswirkungen von Klimaänderungen können auf der Mesoskala differenziert dargestellt werden. Gleichzeitig ermöglicht WARIG den Abgleich mikro-, meso- und makroskaliger Modelle (vgl. Kapitel 3). WARIG wurde von den AG's Wassermanagement und –ressourcen, Bodenkunde sowie Landschaftsökologie aus speziell angepassten Modell- bzw. Kalibrierungsblöcken (Modulen) aufgebaut. Die jeweiligen Modellergebnisse gehen als Randbedingungen in den nächsten Modellschritt ein.



Die Modellierung des Oberflächenabflusses erfolgt GIS-basiert in Abhängigkeit von Bodendaten, Landbedeckung und Topographie mit einem Verfahren des Soil Conservation Service (Soil Conservation Service 1972) [SCS-Modul 1a]. Die SCS-Ergebnisse zur Bodenwasserbildung gehen als flächenbezogene Daten in das Bodenwasserhaushaltsmodell SIMPEL (Hörmann, G. 1999a,b) [Modul 2a] ein. Zur Kalibrierung wurde an acht charakteristischen Bodenstandorten eine Modellierung des Oberflächenabflusses und Bodenwasserhaushaltes mit dem Modell HILLFLOW (Bronstert 1994) [Modul 1b und 2b] durchgeführt. Der Oberflächenabfluss geht in die Berechnung der Speicherhaltung des Stausees ein. Die Abflussergebnisse aus SIMPEL gehen als flächenbezogene Daten als Grundwasserneubildung in das zweischichtige regionalskalige Grundwassermodell MODFLOW (Chiang und Kinzelbach, 1993; McDonald und Harbaugh, 1988) [Modul 4] ein, das die beiden bedeutenden Grundwasserleiter Serra Grande und Cabeças betrachtet. Referenzwerte zur Überprüfung wurden mit Hilfe von Isotopenuntersuchungen abgeleitet, da nur bedingt hydraulische Daten vorliegen. Die Modelle werden mit Geländedaten aus den Modulen 3 und 5 überprüft und für definierte Zeiträume geeicht. Eine eingehendere Darstellung der Module erfolgt in den Statusberichten der einzelnen Arbeitsgrupppen.

Die Entwicklung eines Geländeklimamodells zur räumlichen Differenzierung des Niederschlags war in dieser Projektphase nicht möglich. Nach Durchsicht der verfügbaren Niederschlagsdaten der Region wurde eine geeignete Klimastation als Datenreferenz ausgewählt.

Tab. 5.2: Ergebnisse zweier Modelläufe für das Einzugsgebiet des Stausees Bocaina

Simulationsjahr	1941/42 Trockenjahr	1995/96 durchschnittliches Jahr
Niederschlag	428 mm	685 mm
Pot. Evapotranspiration	2.121 mm	1.818 mm
Akt. Evapotranspiration	339 mm	596 mm
Oberflächenabfluss	31 mm	35 mm
Seepage (Grundwasserneubildung + Interflow)	53 mm	55 mm

Die vorläufigen Ergebnisse der in Tabelle 5.2 dargestellten Modelläufe sind zunächst überraschend, da trotz deutlich vermindertem Niederschlag (Simulation einer Klimaänderung) bezüglich Oberflächenabfluss und Seepage (Sickerung aus dem durchwurzelten Bodenraum) keine wesentlichen Unterschiede auftreten. Dies liegt an der zeitlichen Verteilung des Niederschlages, der im betreffenden Trockenjahr in wenigen Tagen fällt und damit zu stärkeren Abflüssen führt. Regelnde Größe ist die (Evapo-) Transpiration über den Pflanzenbestand, die im Trockenjahr nur halb so hoch ist. Wesentlicher Oberflächenabfluss entsteht in Abhängigkeit der Bodenvorfeuchte erst bei Niederschlagsintensitäten von größer als 20 mm/d.

Mit kontinuierlicher Wasserstands- und Volumenberechnung am Bocaina-Stausee (Modul 3: Fläche 11 km^2, maximales Füllvolumen 106 Mio. m^3, Wassereinzugsgebiet ca. 1.000 km^2) wur-

den die Oberflächenabflüsse der oberstromigen Niederschläge festgestellt und damit die Module Oberflächenabfluss und Bodenwasserhaushalt (einschliesslich Interflow) geprüft. Die seit dem Frühjahr 1998 kontinuierliche Wasserspiegelaufzeichnung mit einer Drucksonde zeigt, dass der von SCS modellierte Oberflächenabfluss in diesem Zeitraum relativ gut zum beobachteten Speicherverhalten passt: 10 mm Jahresabfluss (Regenzeit) entsprechen bei einem Einzugsgebiet von 1.000 km^2 einer Speicherfüllung von 10 Mio. m^3. Eine Speicherfüllung in dieser Größenordnung wurde im Frühjahr 1998 gemessen. Es ist erkennbar, dass pro Jahr etwa 20 % des vorhandenen Volumens verdunsten. Der Ausfluss aus dem Bocaina-Stausee beträgt je nach Öffnung des Auslasses, der vom Betreiber DNOCS in Abhängigkeit vom Füllstand des Sees geregelt wird, zwischen 0,4 m^3/s und 1 m^3/s. Dieser Auslauf versorgt den Rio Guaribas mit fließendem Wasser auf eine Länge von ca. 20 km bzw. 40 km.

Aus der starken Zunahme der Grundwassernutzung (Modul 4: Grundwassermodell) leitet sich die Frage ab, wie viel Grundwasser kann wo nachhaltig gefördert werden und wie ändert sich dieses Potential in Abhängigkeit veränderter Randbedingungen in der Zukunft. Nachhaltig förderbar sind aktuell etwa 1 l/s je km^2 bei einer flächenhaften Verteilung der Brunnen. Die aktuell im Gesamtgebiet etwa 400 installierten Brunnen könnten demnach mit etwa 5 l/s nachhaltig betrieben werden. Die Brunnen sind jedoch nicht gleichmäßig über das Gebiet verteilt, sondern im wesentlichen auf das Talgebiet des Rio Guaribas konzentriert. Das kontinuierliche Monitoring [Modul 5] des Grundwasserspiegels in einem Flachbrunnen bestätigte die mit generellen hydraulischen und Isotopendaten entwickelte Annahme, dass eine Exfiltration von tiefem Grundwasser in den Fluss stattfindet. Damit konnte die für die Modellierung und für die Bilanz wichtige Frage nach der Fließrichtung des Grundwassers beantwortet werden.
Lokal führen die heutigen Entnahmen zu einer Übernutzung, die in Zukunft noch zunehmen wird. Die Entwicklung des Wasserhaushaltes in der Zukunft und ihre Auswirkungen wird gekoppelt an lokal ausgearbeitete Rahmenszenarien in der noch laufenden Projektzeit ausgearbeitet und im Szenarienband aufgeführt.

EPIC – SPICE (Modellierung der Erträge des Ackerbaus)

Die Grundlage der Abschätzung der Flächenerträge für Kulturpflanzen in der Region Picos bildet das Bodeninformationssystem SPICE (Soil and Land Resource Information System for the States of Piauí and Ceará). Im Datenbereich des Informationssystems sind alle ertragsrelevanten klimatischen und edaphischen Parameter als Eingangsgrößen für die Ertragsabschätzung gespeichert (vgl. Statusbericht AG Bodenkunde). Für die Abschätzung der Erträge der in der Region Picos bedeutenden Kulturpflanzen (Mais, Cowpea, Maniok, Cashew, Reis, Tomate, Mango, Paprika, Banane) in Abhängigkeit von Klima, Boden und Anbauintensität verfügt SPICE über zwei Module: Zum einen den parametrischen Ansatz der Land Suitability Classification (ITC/LSC Methode, Sys et al. 1991) und zum anderen das dynamische Agroökosystemmodell EPIC (USDA 1990). Beide Module werden zur Zeit in den beiden Focusregionen auf ihre Eignung getestet (vgl. Statusbericht AG Pflanzenbau und AG Pflanzenernährung). Die in diesem Bericht verwendeten Flächenerträge beruhen auf den Ergebnissen der ITC/LSC Methode. Die LSC Methode wurde ursprünglich entwickelt für die qualitative Bewertung von Standorten. Sys et al. (1991) zeigen jedoch einen parametrischen Ansatz dieser Methode auf, der quantitative Aussagen über das Ertragspotential von Standorten für eine Vielzahl von Kulturpflanzen ermöglicht, wenn Ertragsdaten zur Eichung der Methode zur Verfügung stehen.

Die ITC/LSC Methode vergleicht die Ansprüche einer Nutzung (z.B. einer bestimmten Kulturpflanze) mit den Eigenschaften des zu beurteilenden Standortes (Abb. 5.5). Für die Ertragsabschätzungen wurden die folgenden Standortparameter berücksichtigt: Niederschlag (Gesamtmenge während der Wachstumsperiode, Niederschlag pro Monat, Länge der Trockenzeit), Temperatur (Mitteltemperatur während der Wachstumsperiode, Monatsmittel (Minimum, Maxi-

mum) während kritischen Wachstumsperioden), Luftfeuchte (in kritischen Wachstumsperioden), Strahlung (Sonnenscheindauer während der Wachstumsperiode), Sauerstoffversorgung der Wurzeln (Dränage, Überflutungsrisiko), physikalische Bodeneigenschaften (Gründigkeit, Steingehalt, Textur, Carbonatgehalt) und chemische Bodeneigenschaften (Basensättigung, pH-Wert, Humusgehalt, Verwitterungsgrad, Salinität, Alkalinität). Je nachdem in wie weit ein Standortparameter die Ansprüche einer spezifischen Kulturpflanze erfüllt, erhält er in Bezug auf diese Kulturpflanze eine Bewertungszahl von 0 (nicht geeignet) bis 100 (sehr gut geeignet). Die Bewertungszahlen der einzelnen Standortparameter anschließend zu einem Standort- oder Ertragsindex (YI_i) verrechnet der mit dem Maximalertrag ($Ymax_i$ =f[Anbauintensität]) der einzelnen Kulturpflanzen korreliert (vgl. Statusbericht AG Bodenkunde). Entsprechend werden die Flächenerträge der einzelnen Kulturpflanzen (Y_i) nach

$$Y_i = Ymax_i \times YI_i \qquad \text{Eq. 1}$$

berechnet.

Die so für jede Bodeneinheit, Kulturpflanze und Klimatyp ermittelten Erträge werden mit Hilfe der Bodendatenbank auf die in MOSDEL als gemeinsame räumliche Einheiten definierten Terrainkomponenten (Untergliederungen der Landschaftseinheiten) aggregiert. Die Flächenerträge dienen sowohl zur Abschätzung des Subsistenzüberschusses (Flächenertrag × Ausdehnung der einzelnen Kulturpflanze × Pro-Kopf-Bedarf × Zahl der Familienmitglieder) in den einzelnen landwirtschaftlichen Betriebstypen als auch zur Ermittlung des Einkommens aus der Landwirtschaft. Im Moment wird der Wasserbedarf des Bewässerungsfeldbaus noch aus der Flächenausdehnung der einzelnen Kulturpflanzen und einem durchschnittlichen Wasserverbrauch pro Hektar berechnet. Bei Verwendung der Simulationsergebnisse aus EPIC werden jedoch exaktere Angaben über den Wasserverbrauch in Abhängigkeit von Pflanze, Klimatyp, Boden und Bewässerungstechnik zur Verfügung stehen, die dann in die Simulation der regionalen Wasserbilanz eingehen.

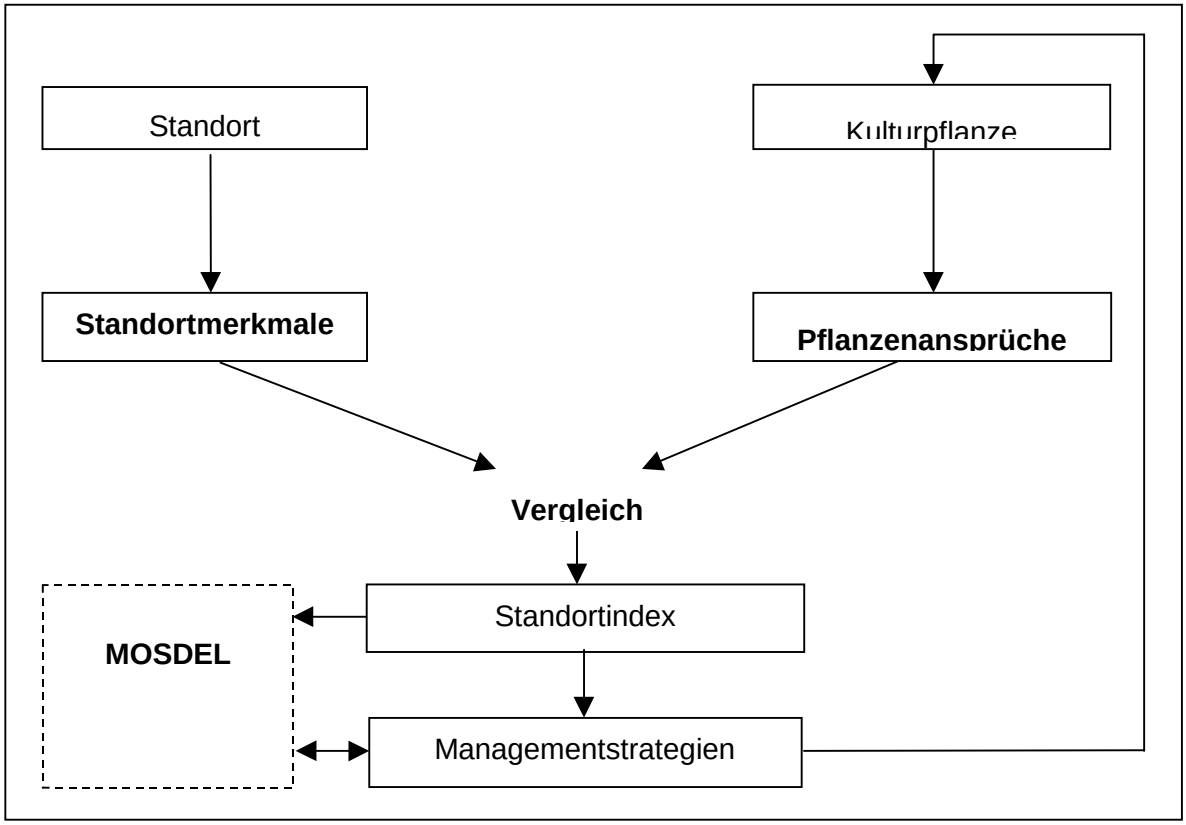


Abb. 5.5: Prinzip der Land Suitability Classification mit MOSDEL-Schnittstelle

5.9 Beschreibung des Simulationsdurchlaufs

Vor dem Start des Modelldurchlaufes müssen verschiedene Parameter ausgewählt werden:

- Startwerte der Wasserverfügbarkeit
- Sequenz definierter Niederschlagstypen
- Auswahl und Anzahl der Betriebstypen
- Verfügbare Anbauflächen pro Gemeinde
- Auswahl der Feldfrüchte pro Betriebstyp
- Anbaumethode
- Verfügbare Gesamtanbaufläche im Munizip pro Betriebstyp
- Prozentuale Anbauverteilung

Die Simulation läuft innerhalb des Grid-Moduls von ArcInfo. Die Erträge der einzelnen Feldfrüchte werden für jede Gridzelle (=1ha) berechnet. Diese werden mit Marktpreisen versehen und nach Abzug der betrieblichen Kosten als Gewinn gleichmäßig auf die den Betriebstypen zugeordneten Beschäftigten aufgeteilt.

Bei einer Simulation von Jahressequenzen ergeben sich nach dem ersten Simulationslauf neue Startwerte der Wasserverfügbarkeit, der verfügbaren Produktionsmittel und der Anbaufläche. Auf Basis dieser neuen Situation werden die Anbauentscheidungen für das nächste Simulationsjahr getroffen. Die weiteren Simulationsjahre laufen mit den voreingestellten Werten der Klimatypen - die Erträge pro Gridzelle werden erneut ermittelt. Nach dem gleichen Schema wird über den Simulationszeitraum einer mehrjährigen Sequenz verfahren und eine Gesamtbilanz erstellt.
Die Detailentscheidungen und –ergebnisse werden ausführlich in Band 2 dargestellt (Statusbericht FB Landschaftsökologie).

5.10 Modellergebnisse

Am Ende des Berichtszeitraumes lag bereits ein erster einjähriger Modelldurchlauf vor. Das Simulationsergebnis wird am Beispiel des Munizips Picos in Tab. 5.4 dargestellt. Dabei wurde von der Vegetationsperiode 1995/96, d.h. einem durchschnittlichen Niederschlagsjahr ausgegangen.

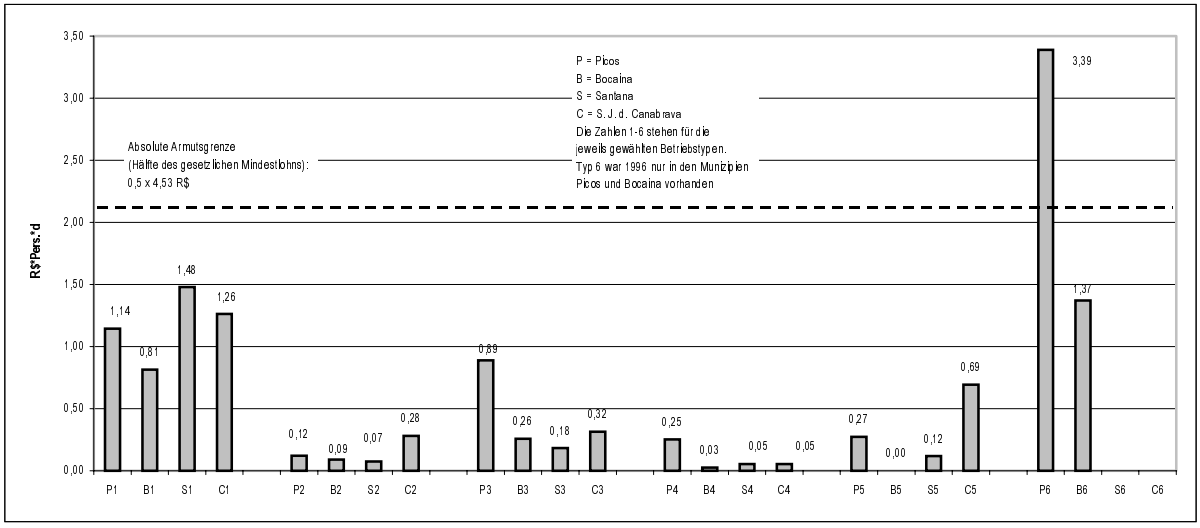


Abb. 5.6: Tageseinkommen pro Kopf, sortiert nach Betriebstypen in den verschiedenen Gemeinden (Zahlen 1-6, siehe Betriebstypenklassen, Tab. 5.1)

Abbildung 5.6 zeigt die Pro-Kopf-Einkommen, zusammengestellt nach den unterschiedlichen Betriebstypen (s. Tab. 5.1) in den jeweiligen Gemeinden. Zunächst fällt die geringe Rendite der

Betriebstypen auf: Keiner der Betriebstypen erreicht das gesetzliche Mindesteinkommen („salário mínimo“) von 4,53 R$/d. Selbst die als ‚absolute Armutsgrenze’ („ungenügender Verdienst“ - PNUD, 1998) gesetzte Hälfte des gesetzlichen Mindesteinkommens wird nur von einem Betriebstyp übertroffen. Dabei ist zu beachten, dass die Erträge der Tierproduktion (ca. 50% des landwirtschaftlichen Gesamterlöses in der Region, s. Kap. 5.1) im Modell noch nicht berücksichtigt wurden. Auch außerlandwirtschaftliche Einkommen bleiben außer Betracht. Selbst unter Einbeziehung dieser Erträge, bleibt die Einkommenssituation für fast alle Betriebstypen prekär, besonders gravierend (wie zu erwarten) für die Subsistenzbetriebe (Betriebstyp 2 und 4). Damit bildet sie relativ gut die in Kap. 5.1 (Sozioökonomische Kennziffern) beschriebene reale Einkommenssituation ab.

Als vergleichsweise erfolgreicher Betriebstyp können die Gartenbaubetriebe gelten, u.a. da diese mit zwei Ernten pro Jahr rechnen können. Der deutlich höhere Gewinn der Gartenbaubetriebe in Picos im Verhältnis zu denen in Bocaina ist durch z.T. doppelt so hohe Flächenerträge (wg. der im Mittellauf verbreiteteren Talaue mit den besseren Böden) erklärbar. Mit MOSDEL könnten beispielsweise pro Munizip optimierte Obergrenzen der Anbauflächen für bestimmte Anbaukulturen definiert werden. Durch die Kopplung der Betriebstypen mit sozioökonomischen Faktoren wird das ökonomische Potenzial des Gartenbaus für die jeweiligen Gemeinden bestimmbar (Arbeitsplätze, Erträge). Auswirkungen von Szenarien (z.B. neue Marktfrüchte) werden saldierbar.

Tab. 5.3: MOSDEL-Bilanz des Wasserbedarfs für Bewässerungskulturen mit der lokalen Wasserverfügbarkeit (Grundwasser + Oberflächenwasser + Niederschlag)

in (m³)	Bedarf	Angebot	Bilanz
Picos	37.314.800	1.091.445.248	1.054.130.448
Bocaina	5.514.400	271.036.160	265.521.760
Santana	1.554.000	70.892.928	69.338.928
Sao Joao da Canabrava	3.794.000	217.992.608	214.198.608

In den Munizipien ergab sich für die Auswahl der betrachteten Kulturen und Produktionsverfahren des Simulationsganges jeweils eine positive Wasserbilanz. Die Definition der oberen Belastungsgrenzen des Grundwassers durch Bewässerungskulturen wird noch während der laufenden Projektphase zu erwarten sein.

Die obigen Erläuterungen und Interpretationen geben einen ersten Einblick in die Leistungsfähigkeit des Modells. Eine ausführliche Diskussion erfordert jedoch eine umfassende Analyse jeweils mehrerer (sowie mehrjähriger) Durchgänge, da z.B. die Flächenauswahl im Rahmen der ausgewählten Munizipien und Landschafsräume durch das Zufallsprinzip erfolgte und somit pro Testlauf unterschiedliche Produktionsergebnisse zu erwarten sind. Aus diesen sind die jeweiligen Varianzen und Mittelwerte zu berechnen. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lagen noch keine bewertungsfähigen Laufserien vor. In der verbleibenden Laufzeit der ersten Projektphase wird es vor allem darum gehen, die Modellsensitivität durch Simulationsläufe mit veränderten Parametereinstellungen systematisch zu erfassen sowie notwendige Anpassungen vorzunehmen (z.B. Mischkulturverhältnisse bzw. Flächenanteile der jeweiligen Kulturen). Die Ergebnisse des Agrarzensus von 1995/96 (Censo Agropecuário, IBGE, 1997c) dienen dabei als munizipbezogene Referenzwerte für die Validierung. Darüber hinaus wird eine stärkere Anpassung der Betriebstypen an die Region Picos erfolgen. Betriebsökonomische Kenngrößen, wie Produktionsverfahren, Produktionskosten sowie Preise, die gegenwärtig noch aus dem gesamtstaatlich arbeitenden Modell RASMO (AG Regionalökonomie) stammen, werden, sobald sie verfügbar sind, durch räumlich besser aufgelöste Daten der Region Picos (der AG Betriebsökonomie) ersetzt.

Durch den flächenbezogenen Modellierungsansatz von MOSDEL wurde es möglich, für die Untersuchungsregion Picos die Wirkungskette von Standortpotential, landwirtschaftlicher Produktivität und Wertschöpfung simulierbar zu machen. Mit Hilfe der Betriebstypen konnte die räumlich definierte Koppelung von Standortfaktoren mit sozioökonomischen Parametern herge-

stellt werden. Erste Optimierungshinweise für die aktuellen ackerbaulichen Nutzungen können damit bereits gegeben werden. Außerdem werden die voraussichtlichen ökologischen und ökonomischen Auswirkungen zukünftiger Entwicklungen durch veränderte Klima- oder Managementparameter (z.B. von Szenarien) wie z.B. Wasserverfügbarkeit, Management, Fruchtwahl, Flächeninanspruchnahme darstellbar.

Die weiteren Arbeiten zielen nach der sorgfältigen Kalibrierung und Sensitivitätsprüfung auf die möglichen Einsatzbereiche einer Landnutzungs- und wasserwirtschaftlichen Planung wie sie z.B. bei landwirtschaftlichen oder gemeindlichen Planungsinstitutionen erforderlich sind. Zur Erzielung eines umfassenden und leistungsfähigen Planungsinstrumentes sind Weiterentwicklungen zusätzlicher Modellbereiche wie z.B. der Tierproduktion oder der Umweltplanung erforderlich und wünschenswert. Diese werden, ebenso wie die Prüfung einer räumlichen Übertragung auf andere Sertão-Regionen, erst in einer weiteren Förderperiode umsetzbar.

Tabelle 5.4: Durchschnittliche landwirtschaftliche Produktion, Markterlöse und Betriebseinkommen aus dem Ackerbau von sechs charakteristischen Betriebstypen im Munizip Picos

Betriebstyptyp	Kultur	Zahl (ha)	Ertrag (t)	Preise (1996) (R$/t)	Erlös/Kultur	Gesamterlös	Anbau-verfahren	Kosten (ha)	Kosten ges.	Gewinn/ Frucht	Gesamtgewinn (R$)	Anzahl Betriebe	Anz. Personen/ Betrieb	Pro Kopf- Einkommen / d
1	Cowpea	263	60.067	659.17	39.594		tractor	-64.20	-16.885	22.710				
	Mais (2)	105	30,147	200	6.029		tractor	-42,80	-4.494	1.535				
	Maniok	685	3260,62	46,84	152.728		tractor	-91,90	-62.952	89.776				
	Cashew	4.217	2479,64	286,67	710.839		tractor	-21,40	-90.244	620.595		176	10	1,14
	Summe:	5.270				909.190					734.616			
2	Cowpea	2.058	419,688	659,17	276.646		simple	-22,80	-46.922	229.723				
	Mais (2)	411	104,11	200	20.822		simple	-22,80	-9.371	11.451				
	Maniok	472	2101,53	46,84	98.436		simple	-35,65	-16.827	81.609		1.471	5	0,12
	Summe:	2.941				395.903					322.783			
3	Cowpea	20	6,46	659,17	4.258		Simple	-22,80	-456	3.802				
	Mais (2)	33	15,704	200	3.141		Simple	-22,80	-752	2.388				
	Maniok	18	90,691	46,84	4.248		Simple	-35,65	-642	3.606				
	Cashew	70	46,293	286,67	13.271		Simple	-21,40	-1.498	11.773				
	Mais (1)	6	24,78	200	4.956		Irrihigh	-749,39	-4.496	460				
	Reis	22	112,067	243,33	27.269		Irrihigh	-766,91	-16.872	10.397		10	10	0,89
	Summe:	169				57.143					32.427			
4	Cowpea	34	11,195	659,17	7.379		Simple	-22,80	-775	6.604				
	Mais (2)	34	14,665	200	2.933		Simple	-22,80	-775	2.158				
	Maniok	15	72,443	46,84	3.393		Simple	-35,65	-535	2.858				
	Reis	45	213,537	243,33	51.960		Irrihigh	-766,91	-34.511	17.449		63	5	0,25
	Summe:	128				65.666					29.069			
5	Cowpea	1.394	421,829	659,17	278.057		Simple	-22,80	-31.783	246.274				
	Mais	5.230	2409,30	200	481.862		Simple	-22,80	-119.244	362.618				
	Reis	2.093	8265,01	243,33	2.011.12		Irrihigh	-766,91	-	405.982		1.453	7	0,27
	Summe:	8.717				2.771.044					1.014.87			
6	Cowpea	67	78,295	659,17	51.610		Irrihigh	-562,86	-37.712	13.898				
	Mais (1)	67	195,331	200	39.066		Irrihigh	-749,39	-50.209	-11.143				
	Reis	141	548,069	243,33	133.362		Irrihigh	-766,91	-108.134	25.227				
	Tomate	39	1009,19	730	736.712		Irrihigh	-1.423,70	-55.524	681.188				
	Paprika	62	1003,59	730	732.627		Irrihigh	-1.423,70	-88.269	644.358				
	Banane	152	2466,21	501,98	1.237.98		Irrihigh	-1.026,85	-156.081	1.081.907				
	Mango	38	204,577	211,59	43.286		Irrihigh	-721,79	-27.428	15.858		283	7	3,39
	Summe:	566				2.974.652					2.451.29			

(1) = bewässert; (2) = unbewässert

6 Das Integrierte Regionalmodell SIM (Semiarid Integrated Model) für die Bundesstaaten von Piauí und Ceará

Die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen in semiariden Gebieten werden erheblich durch die geringe und sehr variable Verfügbarkeit von Wasser beeinflusst. Dieser Einfluss setzt sich aus unterschiedlichsten Prozessen zusammen: meteorologischen, hydrologischen, agarökologischen, agrarökonomischen, soziokulturellen sowie politischen Prozessen. Die Analyse der Entwicklungen in semiariden Gebieten erfordert ein hohes Verständnis der Dynamik der zahlreichen Prozesse, die die Funktion des Systems und dessen Verknüpfungen bestimmen und erfordert damit eine äußerst interdisziplinäre Integrationsarbeit da. Die dynamische Betrachtung ist dabei von zentraler Bedeutung, da gerade die zeitliche Variabilität das kennzeichnende Merkmal der Wasserverfügbarkeit im Nordosten Brasiliens ist, außerdem die Bilanz zwischen den unterschiedlichen Prozessen geographisch sehr differenziert ist und weil globale Änderungen, wie z.B. Klimaänderungen, sehr unterschiedliche Auswirkungen auf diese Prozesse haben können.

In einer der wichtigsten globalen Studien über den Einfluss von Klimavariabilität auf die Landwirtschaft in tropischen semiariden Gebieten wird im Kapitel über den Nordosten Brasiliens geschlussfolgert: „*there is evidently a lack of integrated climate – economy – society studies in Brazil. Given the magnitude of climatic impacts on the Brazilian economy and society, especially in Northeastern Brazil, research is recommended (..) that will lead to policies that increase resilience to drought*“ (Magalhaes et al., 1988). Die Einschätzung von Auswirkungen möglicher politischer Eingriffe sowie die Analyse der Sensitivität auf globale Änderungsprozesse in Form von Szenarienstudien bilden prinzipielle Anwendungen der integrierten Studien.

6.1 Konzepte der Integration

Die system-dynamische Integration des Kausalgeflechts Wasserverfügbarkeit – Landwirtschaft – Lebensqualität ist eines der Hauptziele von WAVES (siehe auch Kapitel 2 und 3). Das integrierte Modell **SIM** (**S**emi-arid **I**ntegrated **M**odel) beschreibt diese Dynamik für die brasilianischen Bundesländer Ceará und Piauí, aufgelöst nach Munizipien, mit einem Zeithorizont von 25 bis 50 Jahren und mit einer Auflösung von einem Tag bis zu einem Jahr.

Die räumliche Skala der Bundesländer von SIM erlaubt die Berechnung von wichtigen Größen wie dem gespeicherten Wasser, der Agrarproduktion oder der Migration, auf Landesebene, wo diese aggregierten Größen politische Entscheidungen beeinflussen. Für die Darstellung von Folgen globaler Änderungen ist diese Skala ebenfalls geeignet, da globale oder regionale Klimamodelle die Klimaänderungen nur an solchen Makroskalen darstellen. Auch sind die aggregierten Ergebnisse von großem Interesse für die Global Change Forschung, die auf der globalen Ebene arbeiten, sich die Rückkopplungen aber aus den regionalen Wirkungen holen.

Die zeitliche Skala von 25 bis 50 Jahren erlaubt die Analyse von bedeutenden Entwicklungen im Untersuchungsgebiet, entsprechend der Planungszeiten für die Wasserinfrastruktur oder längerfristiger politischer Entscheidungen, in Szenarienstudien. Diese Zeitspanne ermöglicht es außerdem die Folgen der globalen Änderungen, die sich erst auf solchen Zeitskalen signifikant zeigen, abschätzen zu können.

Eine koordinierte Arbeit auf der Makroskala, mit Beiträgen aller Arbeitsgruppen, ist ein wichtiges Ziel in WAVES. Die dynamische integrierte Modellierung ist eine der Arbeiten auf dieser Ebene in WAVES, neben dem Klimaprojekt, der großskaligen Hydrologischen Modellierung, der Wassernutzung, der Erosion und der Versandung von Wasserspeichern, Kosten der Wasserversorgung, der Agrarökonomie, der Demographie und der Migrationsmodellierung. Entsprechende Aufgaben wurden in enger Absprache definiert, um eine strukturierte Integration im Projekt zu ermöglichen.

Die Modellierungs- und Integrationsstrategie die verfolgt wurde, ähnelt der anderer integrativer Studien im Global Change Bereich, wie z.B. der im IMAGE Projekt (Alcamo, 1994).
Ausgangspunkt der dynamischen integrierten Modellierung ist die Systemanalyse des Problems. Eines der Hauptergebnisse der Vorprojektphase war eine Übersicht der Variablen und Prozesse sowie der externen Randbedingungen, die im integrierten Modell beschrieben werden sollten (Abbildung 6.1 zeigt die Systemanalyse auf einer zusammenfassenden Ebene; siehe auch Kapitel 2 und 4).

Die Schwerpunkte dieses Konzepts bilden die Themen Wasser und Lebensqualität. Die physische Wasserverfügbarkeit ändert sich unter dem Einfluss des Klimas und ist abhängig von den naturräumlichen Bedingungen, dem Wassermanagement inklusive Wasserinfrastruktur und der tatsächlichen Nutzung des Wassers in den unterschiedlichen ökonomischen Bereichen.
Die Lebensqualität bildet den wichtigsten Einfluss auf das menschliche Verhalten, von dem Migration eine der möglichen Reaktionen auf ungünstige Lebensbedingungen ist und wird von einem Zusammenspiel der unterschiedlichen Lebensbedingungen wie Nahrungssicherheit, Beschäftigung etc. gebildet. Der wichtigste verbindende Faktor der beiden Themen ist die Landwirtschaft, die einerseits stark von der Wasserspeicherung in Boden und Stauhaltungen abhängt und anderseits die Versorgung mit Nahrung und das Einkommen der ländlichen Bevölkerung bestimmt.

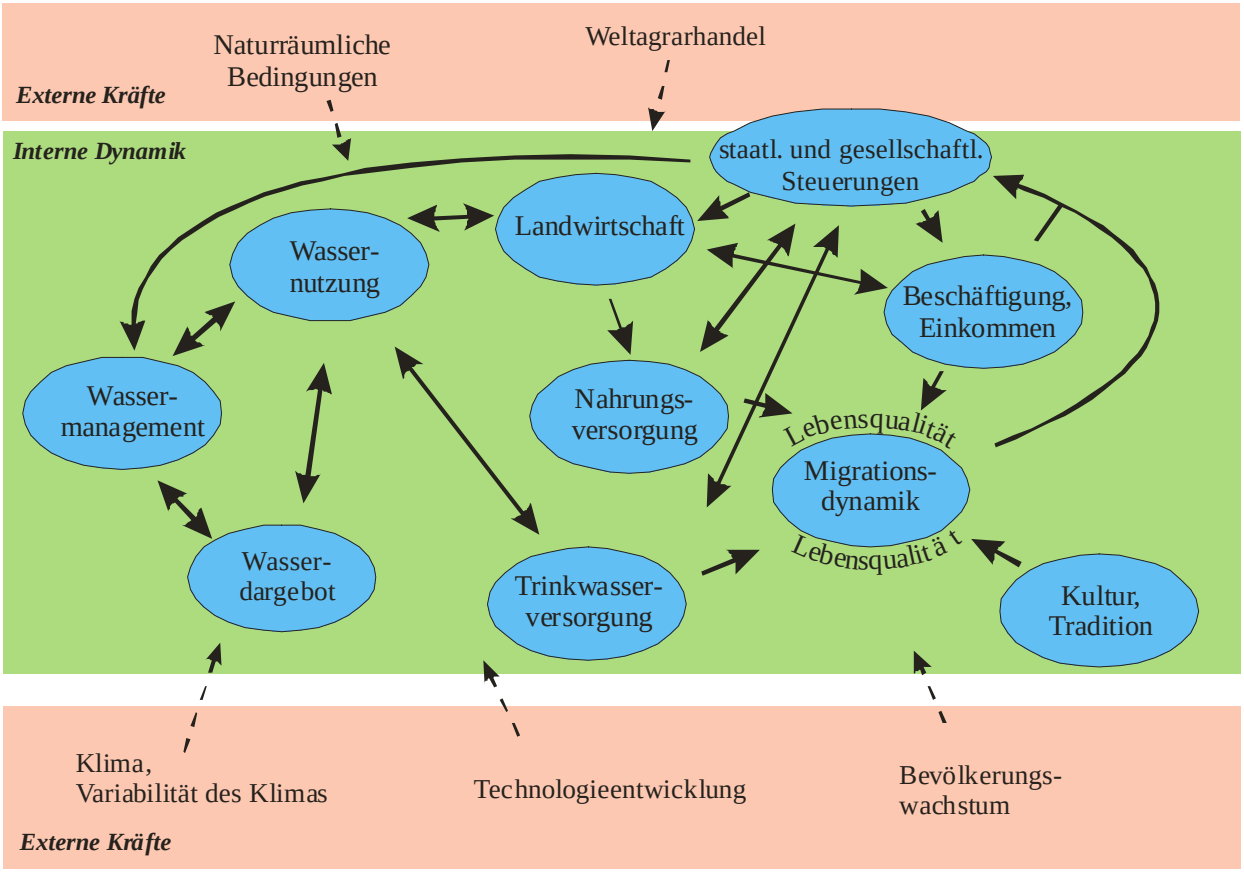


Abb. 6.1: Systemanalyse der Zusammenhänge zwischen Wasserverfügbarkeit und soziale Folgen; mittlerer Detaillierungsgrad.

Im Zentrum des integrierten Modells stehen die endogenen Prozesse, die das interne Systemverhalten bestimmen und die spezifischen Reaktionen des Systems auf externe Einflüsse. Die charakteristischen Prozesse sind dabei sehr unterschiedlich und können die große Variabilität im System ausdämpfen (z.B. Wasserspeicherung, welche die Wasserverfügbarkeit zeitlich

verlängert) oder auch verstärken (z.B. wenn Dürrefolgen nur dann auftreten, wenn Schwellwerte überschritten werden).

Herkömmliche Beschreibungen dynamischer Prozesse auf den hier verwendeten Skalen variieren von der mechanistischen Reaktion der Natur auf das Klima über das Optimierungsverhalten in der Agrarökonomie bis zur Indikator getriebenen Entscheidungsbestimmung im sozialen und politischen Bereich.
Die Hauptaufgabe der Integration besteht darin, diese sehr unterschiedlichen Prozesse auf konsistente Weise miteinander zu verbinden. Die Probleme, die dabei auftreten sind sehr vielfältig. Gebräuchliche Prozessbeschreibungen der unterschiedlichen Fachgebiete benutzen oft unterschiedliche Definitionen der Kerngrößen und arbeiten auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen. Skalenverbindungen machen einen wichtigen Teil der Integrationsarbeit aus, wo z.B. Parametrisierungen auf der Makro/Mesoskala von mikroskaligeren Studien abgeleitet werden (siehe Kapitel 3.3).

Daneben darf ein integriertes Modell keine Unterbrechungen in den Systemzusammenhängen aufweisen. Einige wichtige Prozesse werden nur qualitativ gut verstanden, haben aber einen bedeutenden Einfluss auf das Gesamtsystem, wie z.B. das Migrationsverhalten. Hier werden im integrierten Modell plausible und durchschaubare Annahmen implementiert, die solche Prozesse nicht detailliert darstellen können, aber die wichtigsten Merkmale abbilden. Die Einbindung dieser Prozesse ermöglicht es, auch die Rückkopplungen auf andere Prozesse zu erfassen.
Die externen treibenden Kräfte gehen als Szenario in das Modell ein. Dabei entspricht das Szenario entweder nur eine Sensitivitätsstudie oder einer umfassenden Beschreibung der regionalen Entwicklung (siehe Kapitel 7).
Die Umsetzung der Systemanalyse in ein konkretes Modell erfolgte schrittweise. Zuerst wurde eine „Prototypversion“ erstellt, die nur die wichtigsten Systemzusammenhänge und auf das gesamte Gebiet von Ceará und Piauí aggregiert erfasste. Diese Prototypversion diente zwei Zielen. Zum einem konnte so der Gesamtentwurf des Modells getestet werden, um eventuelle Definitionsprobleme oder Lücken im System zu finden. Zum anderen diente das Prototypmodell dazu, den Fachbereichen explizit zu zeigen, welche Rolle die unterschiedlichen Teilkomponenten im Modell spielen.

Die groben Beschreibungen im Prototypmodell wurden dann schrittweise mit Hilfe von Zuarbeiten der unterschiedlichen Arbeitsgruppen durch ausgearbeitete Teilkomponenten ersetzt, die räumlich und zeitlich differenzierte Parametrisierungen enthielten und immer im Rahmen eines laufenden integrierten Modells getestet werden konnten.

Skalierungsüberlegungen machen einen wichtigen Teil der Modellierung auf der Makro-/Mesoebene aus. Die Modellierung bildet sich meistens aus einem Kompromiss zwischen der feineren Skala, auf der man die einzelnen Prozesse versteht und auf der detaillierte Feldmessungen vorgenommen werden können und der gröberen Skala, auf der die Ergebnisse aussagekräftig sind und auf der die raumdeckenden Sekundärdaten nur teilweise verfügbar sind (siehe auch Kapitel 3).

Eine der Skalierungsmethoden, die in praktisch allen Teilbereichen von WAVES vorgenommen wurde, ist die der Klassifizierung, wobei Parametrisierungen für wenige detailliert studierte kleine räumliche Einheiten abgeleitet und auf ganze Teilgebiete des Gesamtraums angewandt werden, bestimmt durch eine Klasseneinteilung, die auf Sekundärdaten basiert.

Andere Skalierungsmethoden untersuchen wie die Ergebnisse von Modellsimulationen vom Aggregationsgrad der Eingabedaten abhängen. Somit kann abgeleitet werden bis zu welcher räumlichen oder zeitlichen Skala die Parametrisierung gültig ist oder ob bestimmte Parameterwerte skalenabhängig angepasst werden müssen.

6.2 Modell, Teilkomponenten und deren Integration

Das integrierte Modell **SIM** (**S**emi-arid **I**ntegrated **M**odel) besteht aus verschiedenen Modulen, dessen Hauptteile das Klima (CLIMO), die wasserbezogenen Prozesse (HYMO), die Landwirtschaft (LAMO) und die soziokulturellen und ökonomischen Themen (SEMO) beschreiben. Diese Hauptmodule bestehen wiederum aus mehreren Teilmodellen, die überwiegend von den anderen Teilprojekten von WAVES erstellt wurden und integrierenden Teilen, die eine konsistente Verknüpfung der Teilmodelle herstellen.
Jedes Teilmodell beschreibt die Entwicklung bestimmter Variablen, beeinflusst sowohl von externen treibenden Kräften als auch internen Variablen die in anderen Teilmodellen beschrieben werden. Für alle Modellteile werden aggregierte Indikatoren berechnet, die den Zustand des Gesamtsystems beschreiben.
Die Einordnung der einzelnen Teilmodelle in die zuvor erarbeitete Struktur des Systems zeigt Abbildung 6.2.

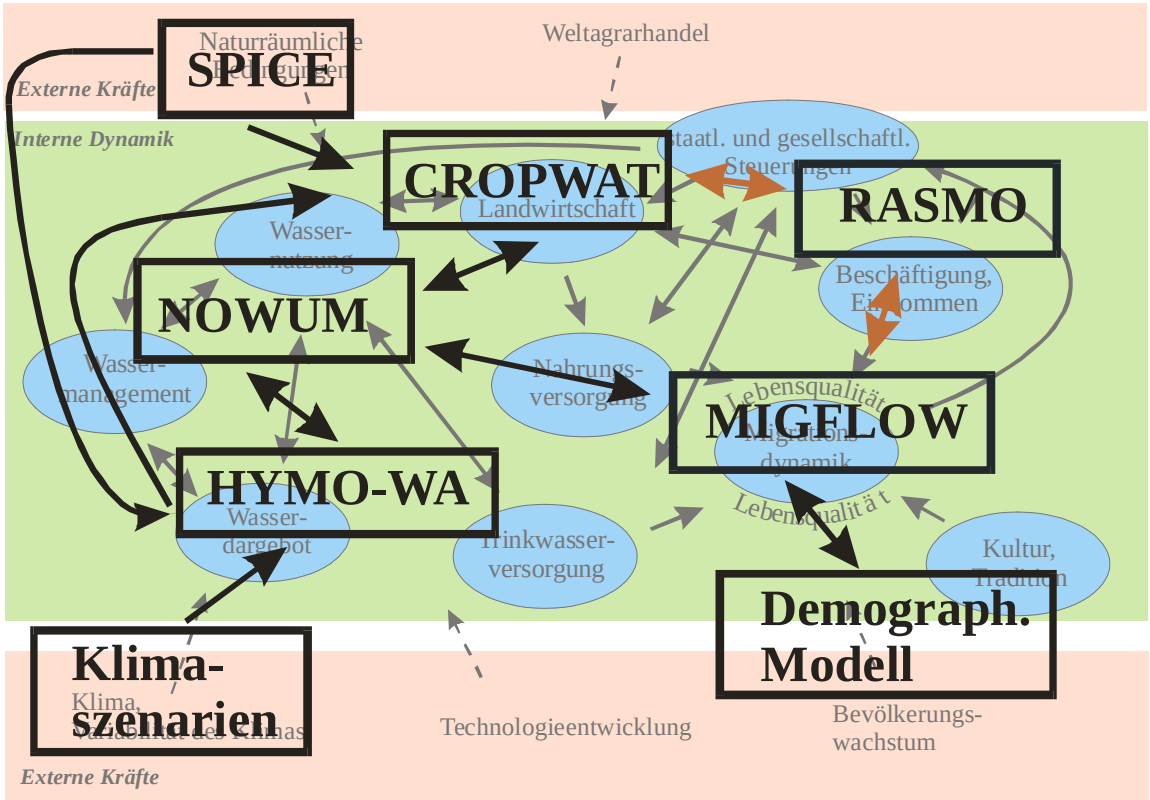


Abb. 6.2: Einordnung der Teilmodelle in die Systemstruktur.

CLIMO

Die Beschreibung des Klimas in SIM besteht im wesentlichen aus dem Einlesen von Klimadaten (historische Rekonstruktion bzw. Zukunftsszenarien) und der Berechnung der potentiellen Verdunstung.
Die Klimadaten wurden von der AG Klimaanalyse/ -modellierung bereitgestellt und umfassen tägliche, auf die Munizipienschwerpunkte interpolierte Daten des Niederschlags, Tagesmaximumtemperatur, Tagesminimumtemperatur, Globalstrahlung, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit. Die Daten basieren auf täglichen Stationsdaten für 89 Klimastationen in Ceará, Piauí und Umgebung (Niederschlag, Temperatur), wobei die übrigen Klimavariablen (in Zusammenarbeit mit der AG Integrierte Modellierung) aus Monatsklimatologien (CRU) übernommen

(Wind, teilweise Niederschlag) bzw. durch Regressionen (Luftfeuchte, Globalstrahlung) abgeleitet sind.
Die potentielle Verdunstung wird mit der Formel von Penman-Monteith in täglicher Auflösung berechnet.

HYMO

Das Teilmodul HYMO besteht aus den Teilen HYMO-WA, das die natürlichen wasserbezogenen Prozesse wiedergibt und NoWUM, das die Wassernutzung beschreibt.
Für die Kopplung von HYMO-WA und NoWUM werden die verschiedenen Arten der Wassernutzung den unterschiedlichen Wasserspeichern zugeordnet und anschließend die Abhängigkeit der tatsächlich entnommenen Wassermenge vom Wasserangebot und dem Bedarf beschrieben.
HYMO-WA beschreibt die physische Wasserbilanz, d.h. die Wassermengen im Boden, in kleinen Stauhaltungen, in größeren Wasserspeichern, sowie in Flüssen, mit einer Auflösung von einem Munizip oder kleiner bei einem täglichen Zeitschritt. Das Modell kombiniert die vertikale Wasserbilanz auf Hydrotopebene, lateralen Prozesse an einer aggregierten Landschaftsebene, einen Übergang ins Flussnetz an der Munizipebene sowie einer Beschreibung des großräumigen Flussnetzes für das Gesamtgebiet von Ceará und Piauí.
NoWUM berechnet den Wasserbedarf in verschiedenen Sektoren: Wasser für den Haushalt, für die Versorgung der Tiere, für die Bewässerung der Felder, für Tourismus und Industrie auf Munizipebene bei einer zeitlichen Auflösung von 10 Tagen bis zu 1 Jahr. Für die Berechnung des Bewässerungswasserbedarfes wird der Ansatz von CROPWAT benutzt.
Eine Ankopplung von Erosionsabschätzungen, verknüpft mit Berechnungen der Versandung großer Wasserspeicher, ist in Vorbereitung.

LAMO

LAMO umfasst die landwirtschaftlichen und agrarökonomischen Prozesse. Es werden die Erträge der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen (Bananen, Tomaten, Melonen, Reis, Mais, Bohnen, Zuckerrohr, Gras, Cashew, Cassava, Kokosnuss, Baumwolle, Mango) nach der CROPWAT-Methode berechnet, wobei die Modellparameter größtenteils auf Simulationen mit dem viel detaillierteren Modell EPIC bzw. mit der ITC/LSC Methode basieren. Berücksichtigung finden bei diesen Berechnungen die gegebenen klimatischen Verhältnisse, die Bodeneigenschaften und verschiedene Anbaumethoden. Die benötigte aktuelle Verdunstung wird aus HYMO-WA übernommen.
Die agrarökonomischen Simulationen (RASMO) umfasst zwei Teile: einen Optimierungsmodus, der das Einkommen maximiert und für durchschnittlichen klimatischen Bedingungen und unter Berücksichtigung einer Reihe von Restriktionen, wie z.B. der Zahl der Arbeitskräfte oder der vorhandenen Ackerfläche, die optimale Landnutzung berechnet. Diese Berechnungen werden so oft durchgeführt, wie sich die Landnutzung wesentlich ändert, z.B. alle 5 Jahre.
In einem „Realisierungsmodus“ wird für jedes Jahr simuliert, wie, bei gegebenen Anbauflächen und Produktionsmethoden, die tatsächlich auftretenden Klimabedingungen sich auf die Betriebsergebnisse, wie z.B. die Beschäftigung oder die Nahrungsversorgung, auswirken.
Die Berechnungen erfolgen auf munizipaler Ebene und unter Berücksichtigung verschiedener Betriebsklassen (kleine, mittelgroße und große) und Bodenklassen (SPICE). Die Bodendatenbank SPICE (Soil and Land Resource Information System for the states of Piauí and Ceará) enthält flächendeckende Informationen für beide Bundesstaaten über Boden und Gelände. Sie ist entsprechend des SOTER-Ansatzes (FAO 1993) aufgebaut, d.h., dass die Landschaft nach topographischen und bodenkundlichen Gesichtspunkten hierarchisch strukturiert wird. Als Basis dienten Bodenkarten und Profilbeschreibungen aus Berichten und Kartenerläuterungen. Auf

gesamtstaatlicher Skala werden ca. 350 Landschaftseinheiten mit ca. 620 Geländekomponenten und 1150 Bodenkomponenten unterschieden.

SEMO

Die soziologischen Prozesse werden in einem demographischen Modell, zur Beschreibung der Bevölkerungsentwicklung und in einem Teilmodell, das die Migration beschreibt, dargestellt.

Das Migrationsmodell MigFlow errechnet die Anzahl der Migranten in Abhängigkeit von der Lebensqualität in und der Entfernung zwischen den Munizipien und den daraus resultierenden Kosten der Migration in jährlichen Zeitschritten.
Das demographische Modell beschreibt die Entwicklung der Anzahl der Bevölkerung, aufgelöst nach Alter und Geschlecht. Dabei wird zwischen den unterschiedlichen dynamischen Prozessen Fertilität, Mortalität und Migration unterschieden. Eventuelle Änderungen der Fertilitäts- und Mortalitätsraten gehen als Szenario in das Modell ein. Die Anzahl der Migranten ergibt sich aus MigFlow.

An der Entwicklung der Teilmodelle waren verschiedenste Fachbereiche beteiligt. Tabelle 6.1 zeigt einen Überblick über die Teilmodelle und die Gruppen, die sie hauptsächlich erarbeitet haben.

Tabelle 6.1 Teilmodelle des integrierten Modells und die Gruppen, die sie bearbeiten.

CLIMO	Klimadaten und -szenarien	PIK – Klima
	Verdunstung	PIK – Integrierte Modellierung
HYMO	Modellierung HYMO-WA	PIK – Hydrologie / UFC – Hydraulik
	Definition, geographische Verschneidungen Hydrotopen, Parametrisierungen	PIK – Integrierte Modellierung
	Gelände- und Bodendaten SPICE	Uni-Hohenheim, AG Bodenkunde
	Modellierung NoWUM	Gh-Kassel – Wassernutzung
	Kopplung HYMO-WA mit NoWUM	PIK – Integrierte Modellierung
LAMO	Implementierung CROPWAT	PIK – Integrierte Modellierung
	Kalibrierungsdaten EPIC bzw. ITC/LSC Methode, Einfluss Bodenqualität	Uni-Hohenheim und UFC – FB Agrarökosysteme
	Optimierungsmodell RASMO	FH-Köln
	Bodenqualität SPICE	Uni-Hohenheim, AG Bodenkunde
	Realisierung der Agrarökonomischen Ergebnisse	PIK – Integrierte Modellierung
SEMO	Lebensqualitätsindikator	Gh-Kassel – Soziokulturelle Analysen
	Migrationsregression	Gh-Kassel – Soziokulturelle Analysen
	Demographisches Modell	Gh-Kassel – Soziokulturelle Analysen / PIK – Integrierte Modellierung/ UFC – Integrierte Modellierung

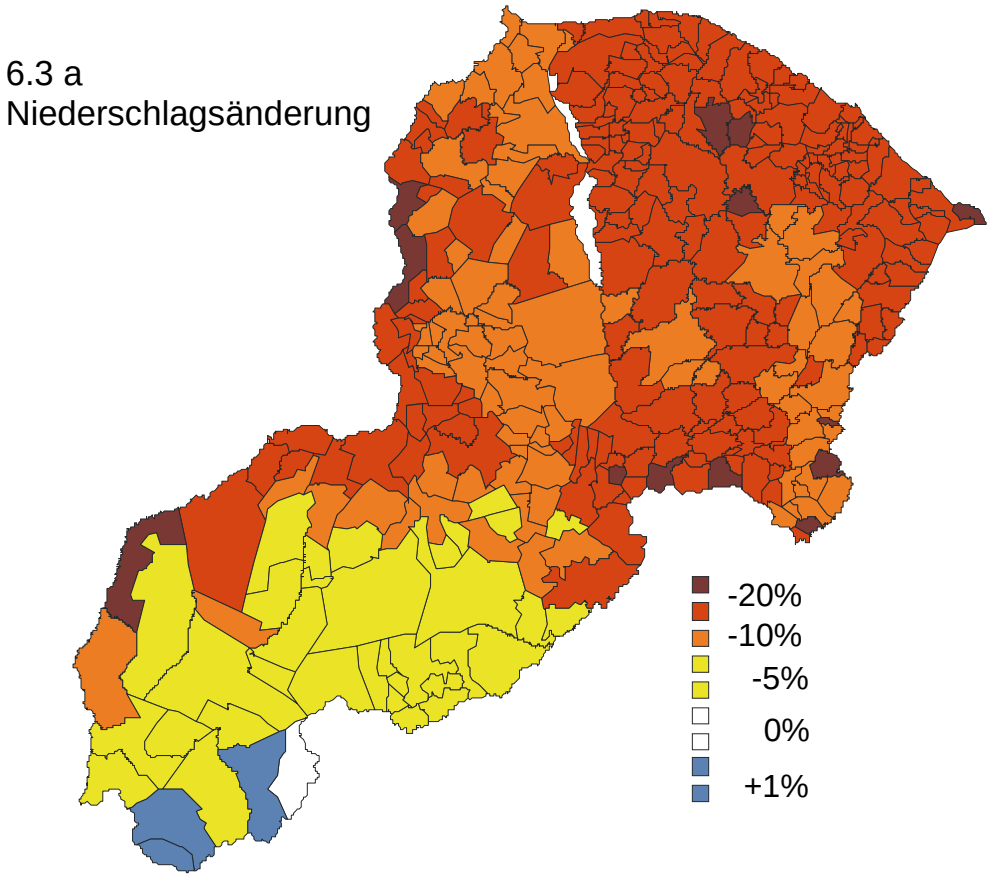
Einige Fachbereichsbeiträge werden erst im Jahr 2000 voll in SIM integriert werden können, da sie noch in der Entwicklung sind oder erst zu spät zur Verfügung standen (Bodendaten aus SOTER-Klassifikation, Vervollständigung der Wassernutzungskategorien, agrarökonomische Modellierung, Migrationsmodellierung, Bodeneigenschaften in HYMO-WA) und sind in der heutigen Version des Modells durch vereinfachte oder unvollständige Darstellungen ersetzt. Dadurch können einige der dynamischen Prozesse im Moment noch nicht vom Modell vollständig abgebildet werden, wie z. B. die agrarökonomische Reaktion auf sich ändernde klimatische Bedingungen. Die oben genannten Modellverbesserungen und Erweiterungen werden bis zum Projektabschluss erfolgen.

Die Beziehung zwischen den Arbeiten an der Makro/Mesoskala, deren Ergebnisse in SIM einfließen und den Arbeiten an der Mikro/Mesoskala sind im Projekt klar definiert. Für einige Gebiete sind die Arbeiten an der Makroskala bestimmend, mit kleinskaligeren Validierungen, für andere basieren die Makro/Mesobeschreibungen auf den Ergebnissen der kleineren Skala (siehe auch Kapitel 3.2).
Im Klimabereich sind die Ergebnisse primär auf der Makroskala, als räumliche Interpolation der verfügbaren Stationsdaten und als Klimaszenarien.
Im Wasserbereich werden Kalibrierungs- und Validierungsstudien zur Zeit bearbeitet, wobei die Ergebnisse von HYMO-WA mit Erhebungen aus den Testeinzugsgebieten in Tauá sowie mit den WARIG Simulationen für den Großraum Picos verglichen werden.
Im agrarökologischen Bereich werden die Arbeiten an der Feldskala bezüglich Pflanzenbau und Pflanzenernährung benutzt, um die Pflanzenparameter für EPIC und CROPWAT an die lokalen Bedingungen und Pflanzvarianten anzupassen. Im agrarökonomischem Bereich sind viele der Beschreibungen und Daten von RASMO von den Arbeiten auf der Ebene der Einzelbetriebe abgeleitet.
Im soziokulturellen Bereich basiert die Beschreibung der Lebensqualität auf den Ergebnissen der Befragungen, die in Tauá und Picos durchgeführt wurden.

6.3 Ergebnisse

Die derzeitigen Ergebnisse von SIM sind als vorläufig zu betrachten, da noch nicht alle Teilmodelle integriert sind.
Die Ergebnisse der heutigen Modellversion sind aber dennoch interessant und vielseitig. Die gesamte Zahl der Ergebnisse ist für einen Szenariolauf von z.B. 25 Jahren mit täglichen meteorologischen und hydrologischen Simulationen auf Munizipebene sehr umfangreich. Anwendungsspezifisch können hieraus Ergebnisse ausgewählt werden, wobei man sich auf geographische Verteilungen, Langzeitdynamik, Jahresgänge usw. konzentriert.

Beispielergebnisse aus einem Modellauf von SIM (Abb. 6.3) zeigen Einflüsse von möglichen Klimaänderungen auf einige wichtige Größen in Ceará und Piauí. Im Klimaszenario, das aus transienten Modelläufen des ECHAM 4 Modells abgeleitet ist, nimmt die Niederschlagsmenge im Untersuchungsgebiet signifikant ab (Abb. 6.3.a; für Einzelheiten siehe Statusbericht der AG Klimaanalyse und -modellierung). Diese reduzierte Niederschlagsmenge hat einen Einfluss auf die Abflüsse, wie z.B. für die des Jaguaribe, dessen Einzugsgebiet ungefähr zwei Drittel der Gesamtfläche von Ceará ausmacht (Abb. 6.3.b). Durch die Reduktion des Wasserangebots kann der Wasserbedarf nicht immer gedeckt werden. (Abb. 6.3.c). Der Rückgang der jährlichen Niederschlagsmengen wird für die Agrarproduktion im Regenfeldbau nicht von einer besseren zeitlichen Verteilung der Niederschlagsmengen innerhalb der Niederschlagsperiode kompensiert (Abb. 6.3.d). Ohne weitere Annahmen bezüglich Änderungen in demographischen, ökonomischen oder (agrar)politischen Prozessen und Strukturen ergibt sich hieraus eine (statistisch nicht signifikante) Verschlechterung der Betriebsergebnisse (Abb. 6.3.e), wobei die starke Migrationstendenz anhält (Abb. 6.3.f). Die Ergebnisse der Agrarökonomie und Migration werden hier nur als gebietsmittlere Trends gezeigt und sind als provisorisch zu betrachten, da die entsprechenden Modellbeiträge noch nicht voll in SIM integriert werden konnten.



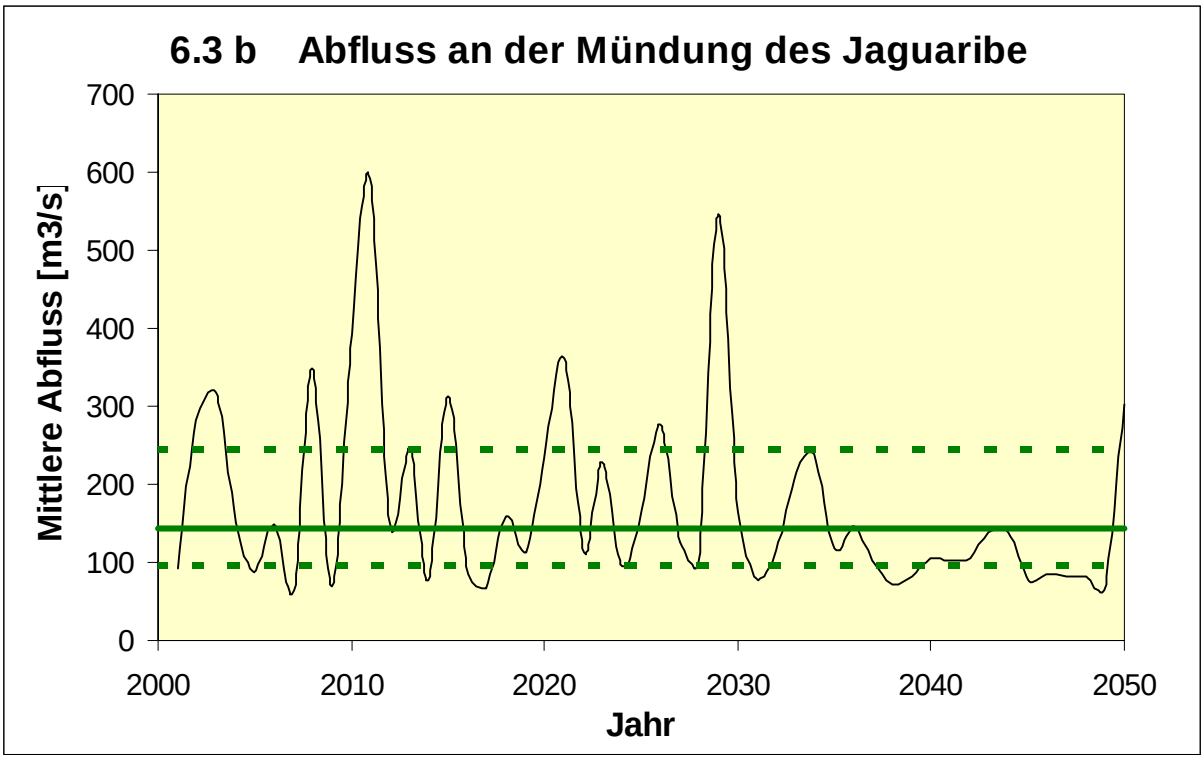
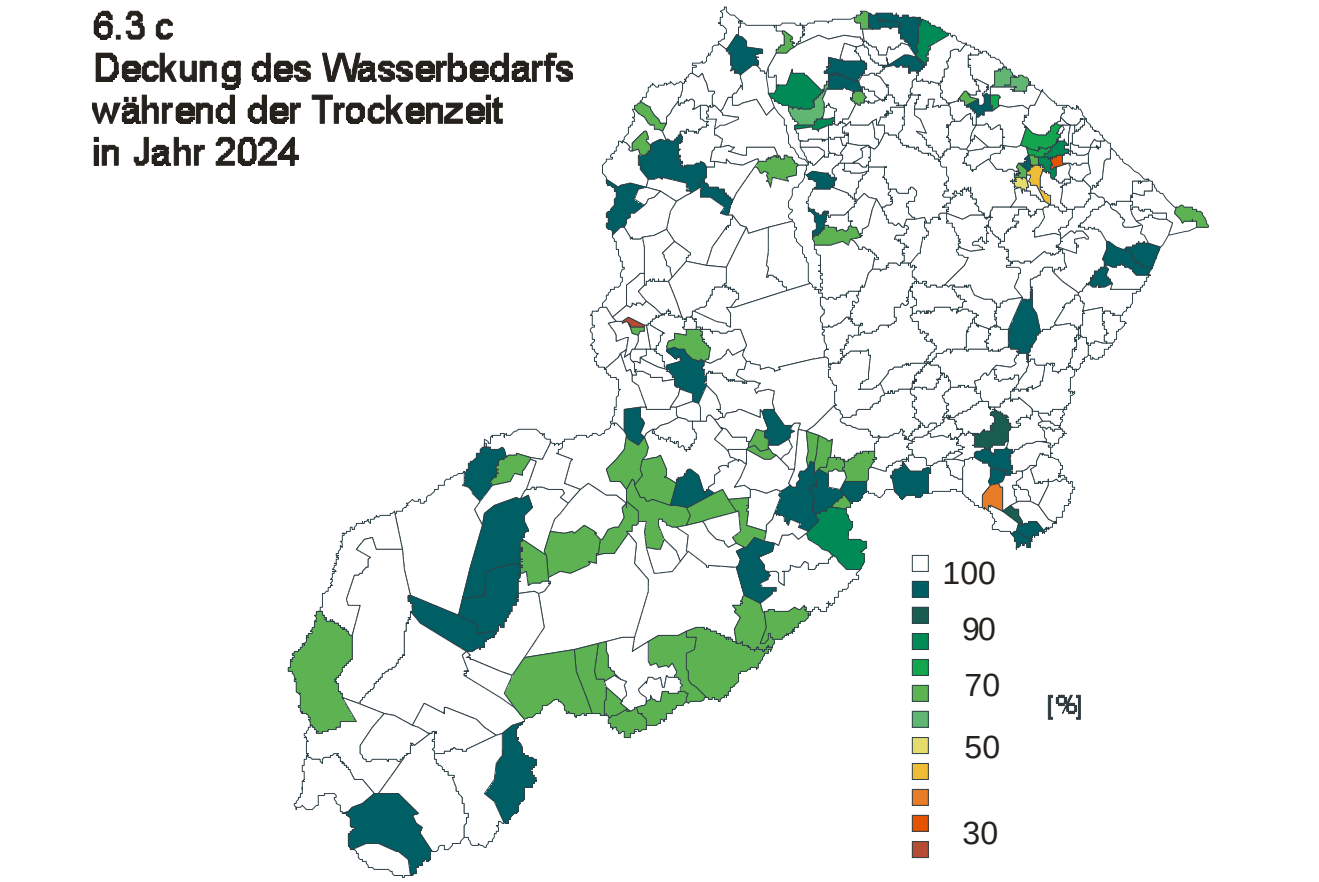


Abb. 6.3: Kurzfassung der Ergebnisse von SIM im Szenariolauf mit Klimadaten aus einer ECHAM 4 Simulation: a) Geographisches Bild der relativen Niederschlagsabnahme im Szenario 2025-2050 gegenüber 2000-2025, b) Liniengrafik des Abflusses des Jaguaribe ins Meer; eingezeichnet sind die 25, 50 und 75 Perzentile einer Simulation mit historischen Niederschlagsdaten (1921-1980).



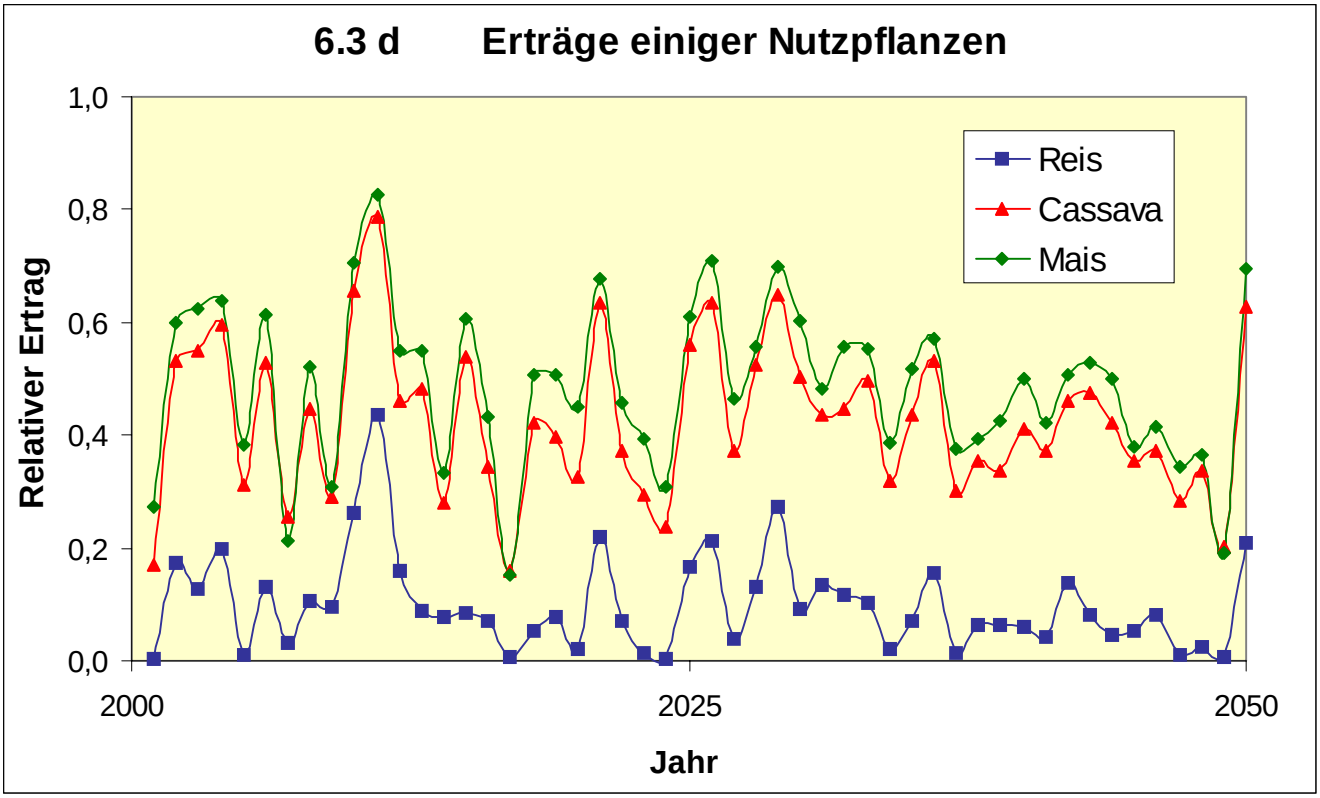
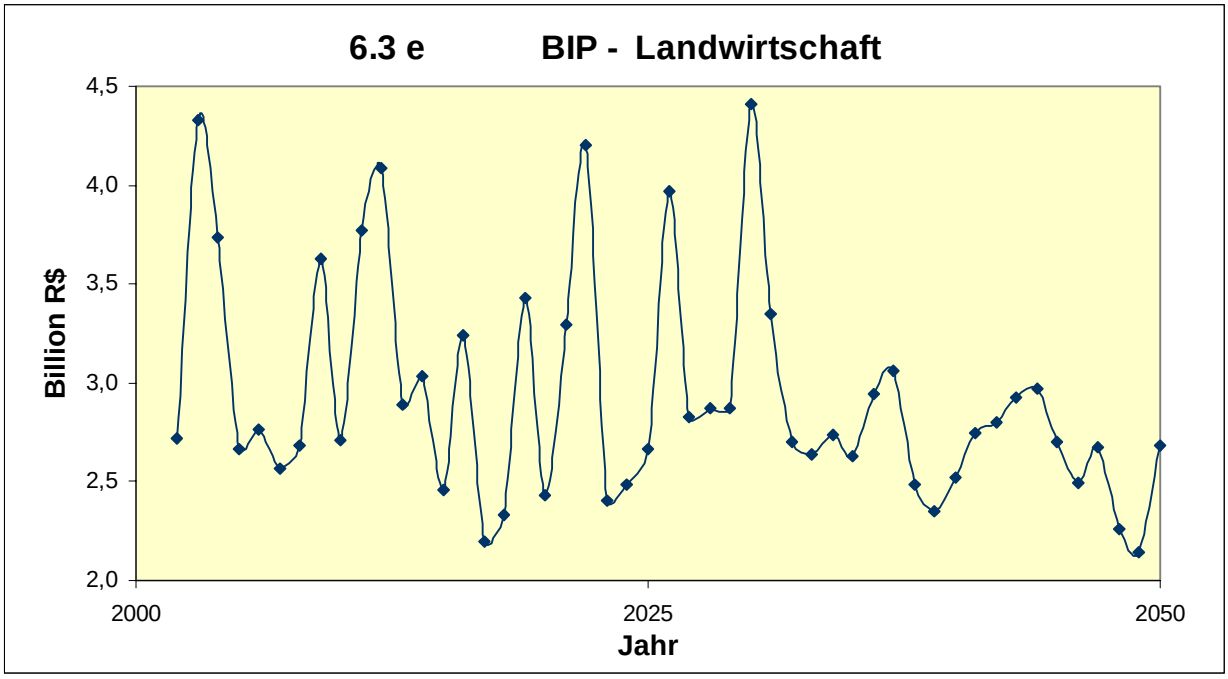


Abb. 6.3: Kurzfassung der Ergebnisse von SIM im Szenariolauf mit Klimadaten aus einer ECHAM 4 Simulation: c) Geographisches Bild des Verhältnisses von Wasserbedarf zur Wasserentnahme aufgrund eines geringem Wasserangebots für die Trockenzeit im Jahr 2024, d) Liniengrafik der mittleren Erträge (relative gegenüber Maximalertrag) von Reis (im Regenfeldbau), Mais und Cassava, 2001-2050.



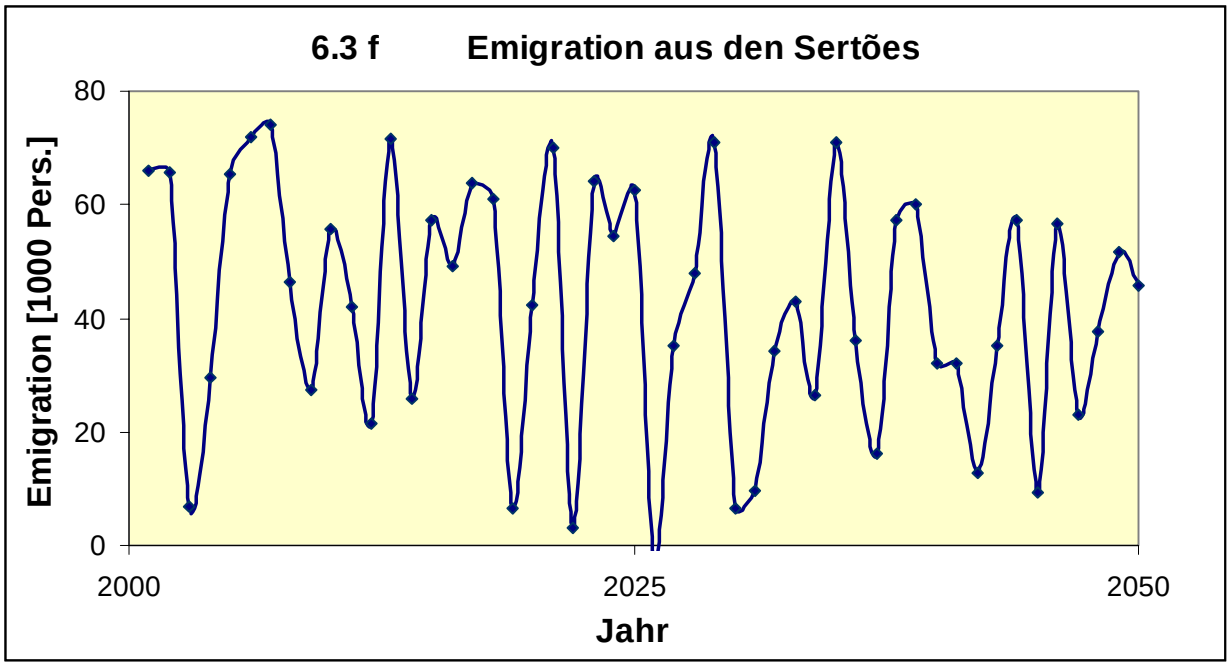


Abb. 6.3: Kurzfassung der Ergebnisse von SIM im Szenariolauf mit Klimadaten aus einer ECHAM 4 Simulation: e) Liniengrafik des BIP im Agrarsektor in Ceará und Piauí, 2001-2050, f) Liniengrafik der Migration aus den Sertões, 2001-2050.

Fragen zur zeitlichen Skalierung wurden anhand der Berechnung der potentiellen Verdunstung exemplarisch erörtert. Als Grundlage für Testrechnungen dienten die Daten der PIK-Klimastationen in Tauá, Picos und Projeto Piloto. Es wurde untersucht, inwieweit die, mit zeitlich gemittelten meteorologischen Messwerten berechneten, Verdunstungsraten von den aus hochaufgelösten Eingabedaten gewonnenen, aggreggierten Verdunstungswerten abweichen (Problem der Nichtlinearität der Verdunstungsberechnung).
Die Ergebnisse zeigen, dass eine halbtägliche Mittelung der meteorologischen Eingabegrößen geeignet ist, um einerseits den Rechenaufwand zu begrenzen und andererseits den Tagesverlauf der Evapotranspiration noch in ausreichender Genauigkeit abzubilden. Eine Summierung der Differenzen (Abb. 6.4) impliziert eine mögliche lineare Korrektur.

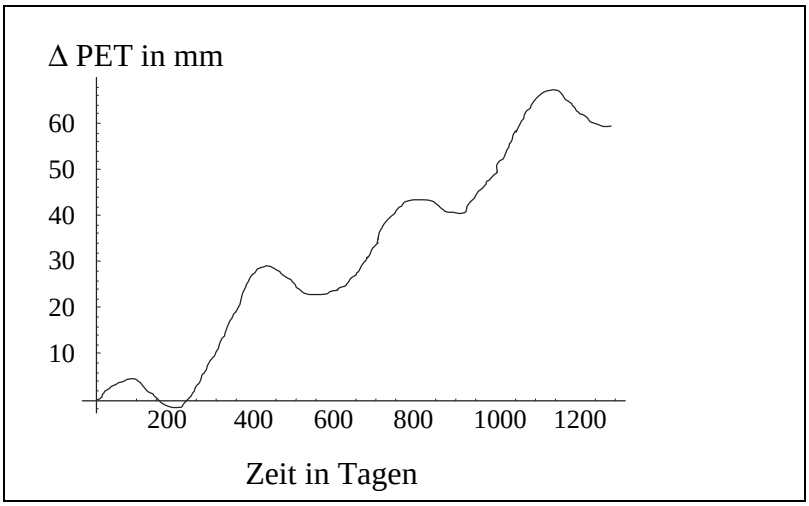


Abb. 6.4: Ergebnis der zeitlichen Skalierungsuntersuchungen. Addierte Differenzen zwischen gemittelten und nicht gemittelten Tageswerten der potentiellen Evapotranspiration berechnet mit Hilfe von Daten der PIK-Klimastation in Picos (2.5.‘95 bis 20.11.’98).

7 Entwicklungsszenarien für Piauí und Ceará

7.1 Einleitung

Die Erstellung von Szenarien ist die Methode der Wahl, um nachhaltige Entwicklungspfade zu identifizieren. Daher ist die Erarbeitung von Szenarien der zukünftigen Entwicklung in Piauí und Ceará eine zentrale Aufgabe im WAVES-Programm. Sie bedarf der interdisziplinären Zusammenarbeit, und bildet eben dadurch auch den Anlass für eine „echte“ interdisziplinäre Kommunikation (Minx et al., 1993).

Nach einem WAVES-Workshop in Kassel im November 1998, bei dem erste qualitative Referenzszenarien erarbeitet wurden, bildete sich die fächerübergreifende Arbeitsgruppe Szenarien, an der sich sieben Personen beteiligten. Die AG entwickelte die qualitativen Referenzszenarien weiter, über die dann mit den brasilianischen Partnern diskutiert wurde. Danach quantifizierte die AG Szenarien die treibenden Kräfte der Szenarien (abgesehen vom Klima). Die treibenden Kräfte dienen als Eingabe der verschiedenen Modelle, die im WAVES-Programm verwendet werden, und deren Ergebnisse im folgenden beispielhaft dargestellt werden. Darüber hinaus hat sich in Teresina eine Szenariogruppe gebildet, die in diesem Jahr begonnen hat, ein weiteres Referenzszenario „aus brasilianischer Sicht“ zu erstellen. Im Statusbericht der fächerübergreifenden Arbeitsgruppe Szenarien sind die Arbeitsergebnisse in detaillierter Form nachzulesen.

7.2 Was sind Szenarien?

Szenarien sind plausible und widerspruchsfreie Bilder möglicher Zukünfte. Sie sind keine Prognosen, sondern beantworten die Frage „Was wäre wenn?“. Viele physische Systeme und wohl alle sozialen und ökonomischen Systeme sind so unzureichend verstanden, dass es nicht möglich ist, Prognosen des Systemverhaltens zu machen. Die Entwicklung solcher komplexer Systeme kann mit Hilfe von Szenarien besser verstanden werden. Szenarien helfen, die Konsequenzen menschlichen Handelns für die Zukunft abzuschätzen, was sie zu einem planerischen Hilfsmittel macht.

Wir verwenden hier den Begriff „Szenario“ in seiner umfassenden Bedeutung, die die angenommenen treibenden Kräfte der Entwicklung und die über Modelle berechneten Größen einschließt. So beinhaltet ein WAVES-Szenario z.B. sowohl Annahmen zur zukünftigen Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts als auch die sich durch Modellierung berechnete industrielle Wassernutzung.

Als **Referenzszenarien** werden hier die Szenarien bezeichnet, in denen keine Maßnahmen angenommen werden, die explizit eine nachhaltige Entwicklung des Untersuchungsgebiets zum Ziel haben. Insbesondere sind damit solche Maßnahmen gemeint, die speziell in den vom WAVES-Projekt bearbeiteten Bereichen Wassermanagement, landwirtschaftliche Produktion und Migration durchgeführt werden könnten

Solche Referenzszenarien werden benötigt, um die Auswirkungen von konkreten Maßnahmen, welche in den sogenannten **Interventionsszenarien** simuliert werden, abschätzen zu können. Bei einem Interventionsszenario wird eine Maßnahme oder ein Maßnahmenpaket innerhalb des entsprechenden Referenzszenarios durchgeführt. So kann z.B. die Wirkung spezieller landwirtschaftlicher Subventionen für kleinbäuerliche Betriebe auf die Produktion und damit auf die Einkommen abgeschätzt werden — vor dem Hintergrund des entsprechenden Referenzszenarios mit den darin gegebenen sozioökonomischen, klimatischen und anderen Rahmenbedin-

gungen. Die Modellierung derselben Intervention bei verschiedenen Referenzszenarien zeigt auf, wie abhängig die Wirkung dieser Intervention von den Rahmenbedingungen ist.

7.3 Entwicklung von qualitativen und quantitativen Szenarien

Es wurden zwei Referenzszenarien entwickelt, auf denen aufbauend erste Interventionsszenarien berechnet wurden. Die Referenzszenarien wurden zunächst in qualitativer (erzählerischer) Form erstellt. Dann wurden quantitative Annahmen über ihre treibenden Kräfte getroffen, auf deren Grundlage mit Hilfe der im WAVES-Programm eingesetzten Modelle weitere Szenariogrößen berechnet wurden. Dabei wurde auf eine konsistente Einbindung der Szenarien für Piauí und Ceará in globale Szenarien geachtet. Die Szenarien umfassen den Zeitraum zwischen 1996 und 2025.

7.4 Qualitative Referenzszenarien

Im WAVES-Programm wurden zwei qualitative Referenzszenarien (RS) entwickelt, die jeweils unterschiedliche gesellschaftliche Entwicklungsmöglichkeiten im Untersuchungsgebiet, aber auch global, widerspiegeln (RS A und B). Keines der beiden Referenzszenarien wird als wahrscheinlicher betrachtet als das andere. RS A und B gemeinsam ist die Einteilung des Untersuchungsgebiets Piauí und Ceará in acht Szenarioregionen, die sich in Hinblick auf die Entwicklung der treibenden Kräfte voneinander unterscheiden (Abb. 7.1):

1. Teresina
2. Großraum Fortaleza + Pecém
3. Küstenregion
4. Süden von Piauí
5. Gebiete mit (vergleichsweise) großen potentiellen Wasserressourcen in Ceará
6. Gebiete mit (vergleichsweise) großen potentiellen Wasserressourcen in Piauí
7. Gebiete mit (vergleichsweise) geringen potentiellen Wasserressourcen in Ceará
8. Gebiete mit (vergleichsweise) geringen potentiellen Wasserressourcen in Piauí

Die Einteilung der beiden Bundesstaaten in die Szenarioregionen geschah unter folgenden Aspekten:

- ähnliche (agrar)ökonomische Bedingungen
- administrative Grenzen
- naturräumliche Bedingungen (potentielle Wasserressourcen, sedimentärer vs. kristalliner Untergrund, Lage innerhalb des Einzugsgebiets, Niederschlag)

Dabei wurde urbane Zentren mit ihrer besonderen gesellschaftlichen Dynamik ausgeschieden. Außerdem wurde für die Zuweisung bestimmter Kriterien jeweils die Kriterien gewählt, die für die zukünftige Entwicklung der Gebiete dominant erscheinen.

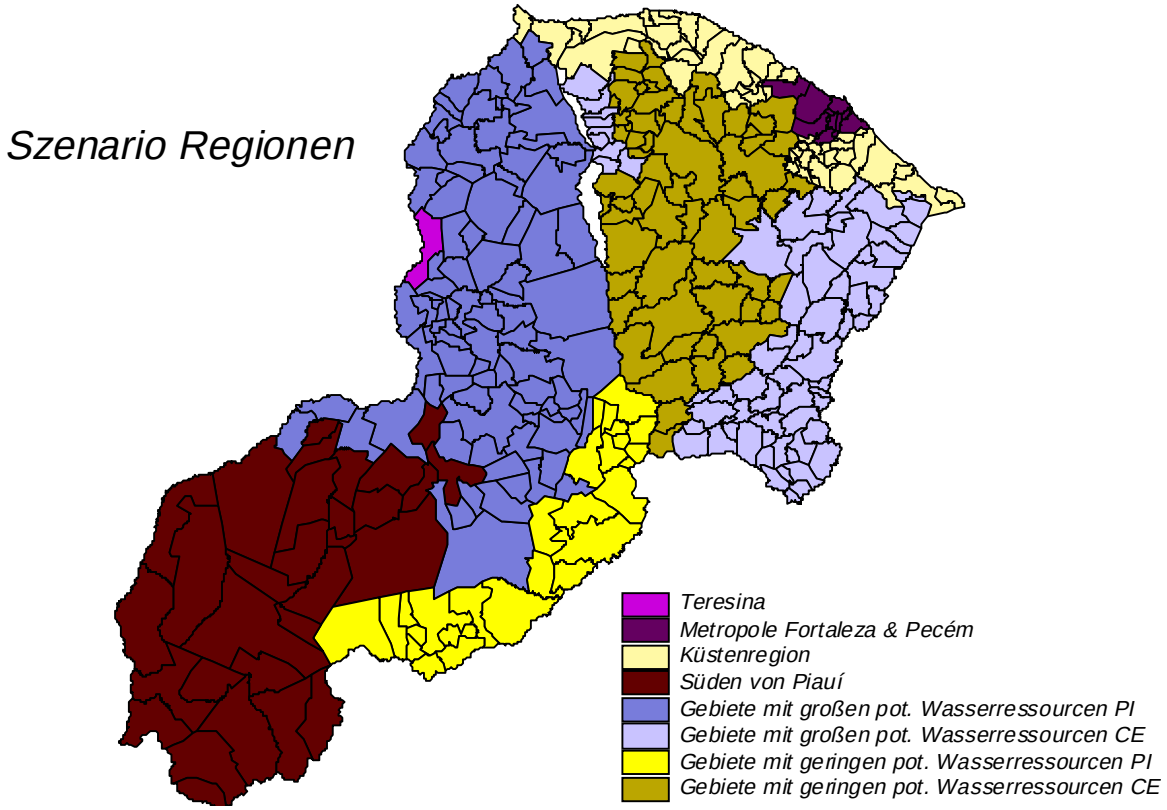


Abb. 7.1: Aufteilung des Untersuchungsgebiets in acht Szenarioregionen.

7.4.1 Referenzszenario A: Küstenboom und Cash Crops (Globalisierung)

Bei Szenario A vollzieht sich die gesellschaftliche Entwicklung, ökonomisch-technologisch ausgerichtet, in einer Welt der Globalisierung der Wirtschaft mit freien Märkten und des wachsenden Wohlstands. Diese Welt ist gekennzeichnet durch zunehmenden Individualismus und Materialismus. Innovationen nicht nur auf technologischen Gebieten verbreiten sich schnell global. Die Unterschiede zwischen reichen und armen Regionen nehmen ab, soweit die natürlichen Ressourcen die Entwicklung nicht behindern. Das Bewusstsein gegenüber der Umwelt ist a priori nicht vorhanden, verbessert sich aber, wenn Umweltauswirkungen für die wirtschaftlichen Aktivitäten bedeutend werden. Unter solchen Bedingungen ist es interessant, sich ressourcensparenden Produktionsmethoden zuzuwenden.

Die Umsetzung dieser Entwicklungsrichtung führt in den Bundesländern Ceará und Piauí zu einer starken wirtschaftlichen Entwicklung und zu stark ansteigendem Tourismus in der Küstenregion. Das Hauptzentrum der Entwicklung liegt eindeutig in den Küstenstädten. Am wesentlichsten profitiert der Großraum Fortaleza von dieser Entwicklung. Deshalb machen sich auch hier am stärksten die Nachteile schnell wachsender Städte bemerkbar. Diese zeigen sich in verhältnismäßig zu langsamem Ausbau der Infrastruktur (z.B. Wasserversorgung) und dem Wachsen von Favelas in den Randgebieten der Stadt. Teresina zeigt aufgrund der ungünstigen Lage nur eine gemäßigte Entwicklung.

Im Hinterland wird, wo es die naturräumlichen Gegebenheiten zulassen (wasserreiche Gebiete), die marktorientierte Landwirtschaft mit Anbau von Cash Crops bestimmend. Die Subsistenzlandwirtschaft ist hier auf schnellem Rückzug. Im Süden von Piauí wird kommerzielle Viehwirtschaft betrieben.

7.4.2 Referenzszenario B: Integrierte ländliche Entwicklung (Dezentralisierung)

Im Szenario B findet eine dezentrale ländliche Entwicklung in Piauí und Ceará statt, die mit einer verstärkten Ausbildung von Mittelzentren und einer regionalen Marktorientierung verbunden ist. Der Ausdruck „Integrierte ländliche Entwicklung“ bezieht sich darauf, dass im Unterschied zum Referenzszenario A die Entwicklung nicht vorwiegend ökonomischen Zielen folgt, sondern auch soziale und ökologische Aspekte Berücksichtigung finden.

Ganz Brasilien ist in einer ökonomischen Krise. Subventionen und Investitionen sind rückläufig. Der primär innerbrasilianische Tourismus an den Küsten von Ceará bleibt bestehen, da Auslandsreisen zu teuer werden. Im Vergleich zu RS A ist die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung in beiden Hauptstädten zögerlicher. Die Bildung gut funktionierender Organisationsstrukturen und staatliche Steuererleichterungen für die weiterverarbeitende Industrie außerhalb der Metropolen gibt einen positiven Impuls für die Entwicklung von sekundärer Industrie in den Mittelzentren. Als wesentlicher Gegensatz zu RS A bilden sich im wasserreichen Hinterland außerlandwirtschaftliche Erwerbsquellen. Lösungen für ein optimiertes Landnutzungsmanagement werden primär auf regionaler Basis erarbeitet.

Die Weltbank und andere internationale Einrichtungen fördern gezielt die Landwirtschaft in krisenanfälligen semi-ariden Gebieten. Im Süden von Piauí wird Viehwirtschaft für den nationalen Markt betrieben.

7.4.3 Quantifizierung der treibenden Kräfte der Referenzszenarien A und B

Die Quantifizierung der Entwicklung der treibenden Kräfte in den Referenzszenarien zwischen 1996 und 2025 konzentriert sich auf die Eingabegrößen, die für die Simulation notwendig sind. Sie erfolgt — außer im Falle der Klimagrößen — für jede der acht Szenarioregionen; die Änderung der treibende Kräfte innerhalb einer Szenarioregion wird als homogen angenommen, und die Änderungsrate wird auf jedes Munizip innerhalb einer Szenarioregion, d.h. auf den Ausgangswert für das Munizip im Jahr 1996, angewendet. Eine Grundlage für die Quantifizierung der treibenden Kräfte der Referenzszenarien ist der Ist-Zustand sowie die historische Entwicklung der Szenariogrößen in den Szenarioregionen, den Bundesstaaten sowie in Brasilien und Lateinamerika.

Da die zukünftige Entwicklung in Piauí und Ceará nicht losgelöst von den globalen und gesamtbrasilianischen Entwicklungen betrachtet werden kann, ist es sinnvoll, die Szenarien für das Untersuchungsgebiet in größerskalige Szenarien einzubinden. So ist der Klimawandel in erster Linie abhängig von Emissionen, die in anderen Gebieten des Globus produziert werden. Ein Szenario des Klimawandels im Untersuchungsgebiet ist also im wesentlichen ein Ausschnitt eines globalen Klimaszenarios, bei dem die Emissionen und damit der Klimawandel als Funktion der globalen Entwicklung von Bevölkerung, Wirtschaftswachstum, Technologiewandel etc. definiert ist. Doch auch die demographische und sozioökonomische Entwicklung im Untersuchungsgebiet ist stark abhängig von der globalen Entwicklung und speziell der Brasiliens.

Die beiden WAVES-Szenarien RS A und RS B lassen sich zwei globalen Szenarien zuordnen, die im Rahmen der Arbeiten zum Third Assessment Report des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) entwickelt werden (Special Report on Emission Scenarios, zweiter Entwurf vom August 1999). Ein Vergleich der Hintergrundgeschichten der globalen Szenarien mit denen der WAVES-Szenarien zeigt, dass RS A dem globalen Szenario A1 und RS B dem globalen Szenario B2 entspricht.

Die Entwicklung des Klimas (bis 2050) wurde durch die AG Klimaanalyse und –modellierung erarbeitet, und zwar unter Verwendung der Temperaturentwicklung laut des globalen Klimamodells ECHAM4-OPYC (Röckner et al., 1996), die auf der Basis des Emissionsszenarios IS92a

(Leggett et al., 1992) berechnet wurde. Um zu detaillierteren Aussagen für die Untersuchungsregion zu kommen, wurde im Rahmen des WAVES-Programms ein regionales Szenarienmodell entwickelt, das auf statistischer Basis die aus dem globalen Klimamodell gewonnenen Informationen mit Beobachtungen aus dem Untersuchungsgebiet koppelt und so ein plausibles Klimaszenario für Piauí und Ceará liefert (s.a. Statusbericht Klimaanalyse und -modellierung). Es konnte nur für den Teil des Untersuchungsgebiets ein Klimaszenario erstellt werden, der sich östlich von -43,25° geographischer Länge befindet, da westlich davon keine Messdaten, die zum Herunterskalieren der Ergebnisse des globalen Klimamodells geeignet sind, zur Verfügung stehen. Für den Südwesten von Piauí steht daher kein Klimaszenario zur Verfügung.

Die Entwicklung der folgenden treibender Kräfte wurde teilprojektübergreifend quantifiziert:

1. Bevölkerungsentwicklung
2. Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt
3. Urbanisierungsgrad
4. Anteil der Bevölkerung mit geringem Einkommen
5. Potentiell für den Ackerbau zur Verfügung stehende Fläche
6. Bewässerungsfläche
7. Größe der landwirtschaftlichen Betriebe

Dies sind nur die zentralen treibenden Kräfte, die für mehr als ein Modell wichtig sind und daher gemeinsam im WAVES-Programm abgestimmt wurden. Darüber hinaus gibt es weitere treibende Kräfte, die nur für jeweils ein Einzelmodul der integrierten Modelle benötigt werden. Szenarien zu diesen treibenden Kräften werden in den entsprechenden Teilprojektberichten beschrieben.

Im folgenden wird beispielhaft die Herleitung der Szenarien der treibenden Kräfte Bevölkerung und Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt dargestellt. Die Quantifizierung der anderen treibenden Kräfte ist im Statusbericht der Teilprojektübergreifenden Arbeitsgruppe Szenarien beschrieben.

7.4.4 Bevölkerung

Die Bevölkerung und ihre Entwicklung ist wohl die zentrale Kenngröße der WAVES-Szenarien. So wird Trockenheit immer nur dann zum Problem, wenn der Wasserbedarf der Bevölkerung nicht gedeckt werden kann. Auch die Einkommensmöglichkeiten in der Landwirtschaft sind stark abhängig von der Anzahl der Personen, die von landwirtschaftlicher Tätigkeit lebt.

Abbildung 7.2 zeigt die historische Entwicklung der mittleren jährlichen Wachstumsraten der Bevölkerung in Piauí, Ceará, Brasilien und Lateinamerika seit 1940, die zukünftige Entwicklung in Lateinamerika bis 2050 gemäss dem globalen IPCC-Szenario A1 sowie die vom IBGE (1997a) prognostizierte Wachstumsrate bis 2020. Bis zum Jahre 2025 wird im globalen Szenario B2 von Wachstumsraten ausgegangen, die denen in A1 sehr ähnlich sind. Das Bevölkerungswachstum in Brasilien ist in den letzten 20 Jahren unter das mittlere Wachstum in ganz Lateinamerika gefallen und lag für den Zeitraum 1996 bei 1,35% verglichen mit 1,84% (SRES) bzw. 1,73% (Inter-American Development Bank) für Lateinamerika. Es ist auch in Zukunft zu erwarten, dass sich der Modernisierungstrend und der gesellschaftliche Wandel fortsetzt, so dass, verbunden mit sinkenden Fertilitäten, die Wachstumsrate weiterhin abnehmen wird.

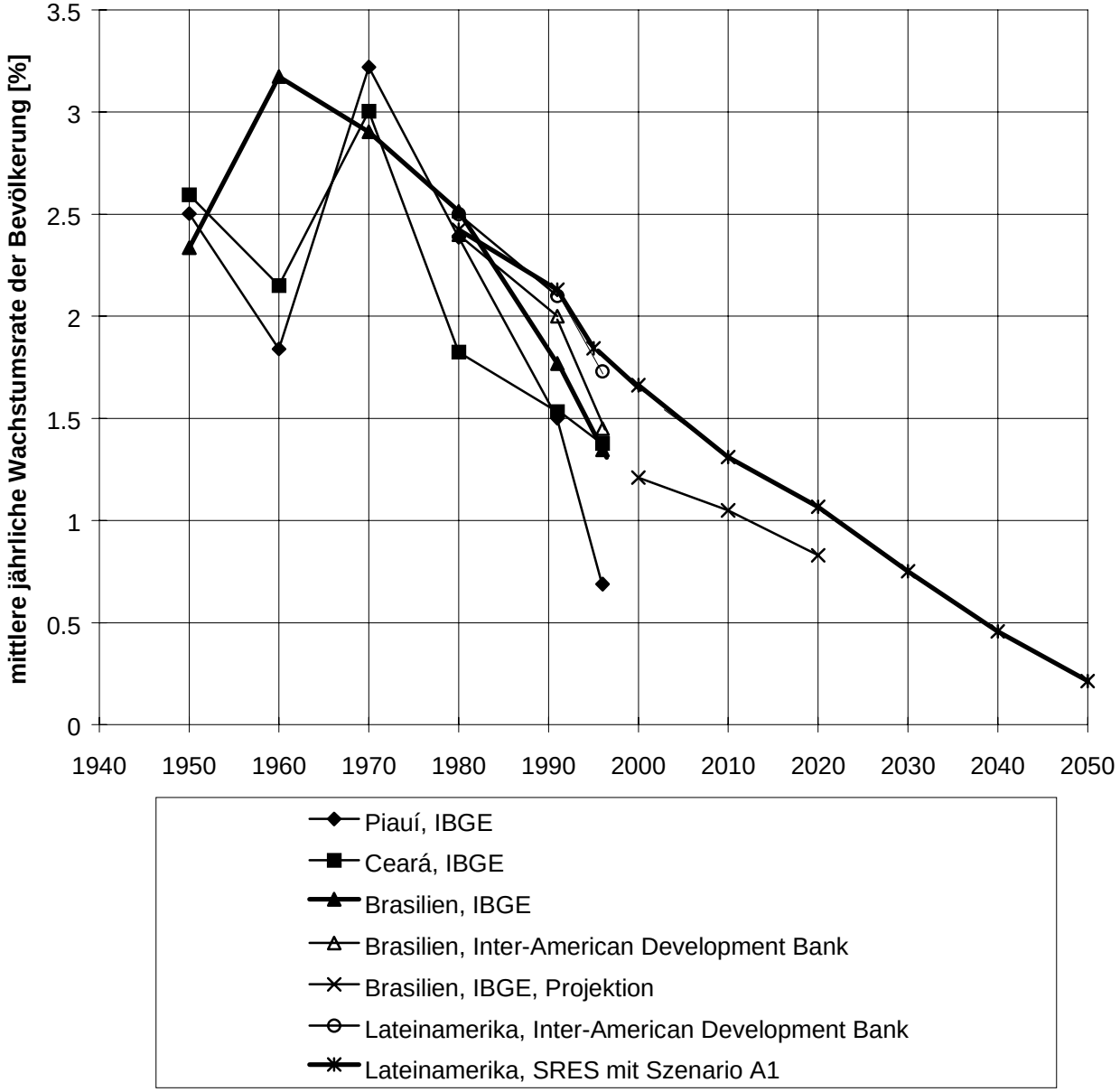


Abb. 7.2: Historische Entwicklung der mittleren jährlichen Wachstumsraten der Bevölkerung von Piauí, Ceará, Brasilien und Lateinamerika, zukünftige Raten in Lateinamerika im globalen Szenario A1 und zukünftige Raten für Brasilien gemäss einer Projektion des IBGE. Eingezeichnet ist im allgemeinen die mittlere Wachstumsrate der vorangegangenen 10 Jahre; Ausnahmen: Werte bei 1991 sind Mittelwert 1980-1991, Wert bei 1995 ist Mittelwert 1991-1995, Werte bei 1996 sind Mittelwerte 1991-1996 und Werte bei 2000 sind Mittelwerte 1995-2000.

Für die Entwicklung der Bevölkerungsszenarien im WAVES-Untersuchungsgebiet ist eine genaue Quantifizierung der Bevölkerungsszenarien für ganz Brasilien nicht erforderlich, da die Bevölkerung im Untersuchungsgebiet nur einen kleinen Anteil an der brasilianischen Bevölkerung hat; zudem unterscheidet sich die heutige Fertilität im Untersuchungsgebiet deutlich von der in Gesamtbrasilien, und die Migration aus dem Untersuchungsgebiet heraus spielt eine wichtige Rolle für die Bevölkerungsentwicklung. So ist die starke Abnahme der Wachstumsrate der Bevölkerung in Piauí für den Zeitraum 1991-1996 auf nur 0,69% einer sehr hohen Netto-Migration aus Piauí heraus zu verdanken, und nicht einer starken Abnahme der Fertilität.

Um Szenarien der Bevölkerungsentwicklung im Untersuchungsraum Piauí und Ceará zu entwickeln, ist es also notwendig, die Rate des natürlichen Bevölkerungswachstums (Differenz zwi-

schen der Geburten- und der Sterberate) und die Netto-Migration (Differenz zwischen Abwanderung und Zuwanderung) getrennt zu analysieren. Als Datengrundlage standen für die Jahre 1991 und 1996 Geburtenraten (IBGE, 1996b) und Sterberaten (IBGE, 1996a) sowie die Bevölkerungszahl in den beiden Staaten (IBGE, 1991, 1997b) zur Verfügung. Daraus kann das natürliche Bevölkerungswachstum sowie die Netto-Migration zwischen 1991 und 1996 bestimmt werden (Tab. 7.1).

Tab. 7.1: Bevölkerungsdaten für Piauí und Ceará in den Jahren 1991 und 1996

	1991	1996	Mittelwert 1991-1996
Piauí			
Bevölkerung (Mio.)	2,58	2,67	
Wachstumsrate (%)			0,69
Geburten je 1000 Einwohner	26,43	25,26	
Todesfälle je 1000 Einwohner	10,13	8,17	
Natürliches Bevölkerungswachstum (%)	1,63	1,71	1,67
Fiktive Bevölkerung ohne Migration (Mio.)		2,80	
Netto-Migration (Personen) 1991- 1996			125.000
jährliche Netto-Migration (% der Gesamtbevölkerung)		0,93 (geschätzt)	
Ceará			
Bevölkerung (Mio.)	6,37	6,81	
Wachstumsrate (%)			1,35
Geburten je 1000 Einwohner	28,20	27,46	
Todesfälle je 1000 Einwohner	9,67	8,32	
Natürliches Bevölkerungswachstum (%)	1,85	1,91	1,88
Fiktive Bevölkerung ohne Migration		6,97	
Netto-Migration (Personen)			157.000
Netto-Migration (% der Gesamtbevölkerung)		0,46 (geschätzt)	

Es erscheint sinnvoll, für beide Referenzszenarien dieselbe Entwicklung der Gesamtbevölkerung im Untersuchungsgebiet anzunehmen. Die Hintergrundgeschichten der beiden Szenarien sind derart gelagert, dass sich aus jeweils unterschiedlichen Gründen derselbe Trend in der Entwicklung des natürlichen Bevölkerungswachstum und der Netto-Migration aus dem Untersuchungsgebiet heraus ergeben kann. So kann im RS A das hohe Wachstum des Pro-Kopf-BIPs im Vergleich zum RS B zu einer verstärkten Abnahme des natürlichen Bevölkerungswachstums führen. Andererseits kann dies durch eine höhere Ungleichverteilung der Einkommen ausgeglichen werden, wodurch große Bevölkerungsgruppen in ihrer Fertilität wiederum weniger stark abnehmen; zudem sollte die soziale Innovation im RS B eine vergleichsweise starke Abnahme des natürlichen Bevölkerungswachstums bewirken. Ein Unterschied im natürlichen Bevölkerungswachstum zwischen RS A und RS B lässt sich also nur schwerlich begründen. Dasselbe gilt für die Netto-Migration. Im RS A spricht das hohe Pro-Kopf-BIP für eine geringe Netto-Migration, im RS B die stärkere regionale Ausrichtung, die sich z.B. in der Entwicklung von attraktiven Mittelzentren innerhalb des Untersuchungsgebiets ausdrückt. Unterschiedlich ist jedoch die Entwicklung der Bevölkerungsverteilung innerhalb des Untersuchungsgebiets, d.h. zwischen den Szenarioregionen.

Für die Entwicklung der Gesamtbevölkerung im Untersuchungsgebiet wird also nur ein Szenario erstellt. Dazu wird ein einfaches Modell verwendet, das, getrennt für Piauí und Ceará, altersgruppenspezifische Geburts-, Sterbe- und Netto-Migrationsraten berücksichtigt, um die Bevölkerungsentwicklung zu berechnen. Ausgehend von den Geburten- und Sterberaten und der Netto-Migration im Jahre 1996 (Tab 7.1) wird angenommen, dass die Geburtenrate pro 1000 Einwohner 2025 auf 16,18 (65% des Wertes von 1996) in Piauí und auf 16,72 (62%) in Ceará gefallen sein wird, die Sterberate auf 7,00 (88%) in Piauí und 7,03 (86%) in Ceará und die Netto-Migration auf 0,62% (65)% in Piauí und 0,31% (64%) in Ceará. Die Geburten- und Sterberaten liegen dann noch immer über den Werten 13,7 und 6,6, die für Gesamtbrasilien im Jahr 2020 projiziert werden (IBGE, 1997a). Die Abnahme der Netto-Migration erfolgt linear, die Abnahme der Geburten- und Sterberaten nichtlinear. Auf diese Art und Weise berechnet sich die in Tabelle 7.2 dargestellte Bevölkerungsentwicklung im Untersuchungsgebiet Piauí und Ceará.

Tab. 7.2: Bevölkerungsentwicklung im Untersuchungsgebiet Piauí und Ceará zwischen 1996 und 2025 (gilt für Referenzszenario A und B)

Jahr	Bevölkerung im Untersuchungsgebiet (Mio.)	Jahr	Bevölkerung im Untersuchungsgebiet (Mio.)
1996	9,46	2011	10,91
1997	9,57	2012	10,99
1998	9,68	2013	11,07
1999	9,79	2014	11,14
2000	9,90	2015	11,22
2001	10,00	2016	11,29
2002	10,10	2017	11,37
2003	10,20	2018	11,44
2004	10,29	2019	11,51
2005	10,39	2020	11,58
2006	10,48	2021	11,65
2007	10,57	2022	11,72
2008	10,66	2023	11,79
2009	10,75	2024	11,86
2010	10,83	2025	11,93

Das Bevölkerungswachstum in den Szenarioregionen ist je nach Referenzszenario unterschiedlich. Es wird definiert über die Veränderung des Anteils der Bevölkerung einer Szenarioregion an der Gesamtbevölkerung des Untersuchungsgebiets, wie sie in Tabelle 7.2 aufgelistet ist (Tab 7.3). Es wird angenommen, dass sich die Anteile zwischen 1996 und 2025 linear verändern. Der Anteil an der Gesamtbevölkerung erhöht sich für diejenigen Szenarioregionen, für die eine starke Zuwanderung zu erwarten ist. Im RS A (Globalisierung) sind das der Großraum Fortaleza und die Küste, die durch Industrie- und Tourismus an wirtschaftlicher Attraktivität gewinnen. Die Cash-Crop-Produktion im Hinterland (mit großen potentiellen Wasserressourcen) bedarf wenig Arbeitskräften, so dass der Anteil der Bevölkerung (entsprechend dem Trend zwischen 1991 und 1996) weiter abnimmt. Auch im RS B (Dezentralisierung) erhöhen sich die Bevölkerungsanteile im Großraum Fortaleza, in Teresina und in der Küstenregion, jedoch gegenüber dem heutigen Trend und dem im RS A stark abgeschwächt. Gleichfalls abgeschwächt ist der heutige Trend in den Gebieten mit relativ großen und mit relativ geringen potentiellen Was-

serressourcen, was auf die Dezentralisierung, die stärkeren regionalen Bindungen und die Art der wirtschaftlichen Umstrukturierung in diesen (ländlichen) Gebieten zurückzuführen ist.

Tab. 7.3: Entwicklung des Anteils der Bevölkerung in den Szenarioregionen an der Gesamtbevölkerung von Piauí und Ceará, differenziert nach Referenzszenarien (in Prozent).

			Referenz-szenario A	Referenz-szenario B
Szenarioregion	1991	1996	2025	2025
Teresina	6,7	6,9	8,1	7,3
Großraum Fortaleza	26,1	27,6	35,4	30,6
Küstenregion	12,7	12,8	17,4	13,3
Süden von Piauí	3,1	2,9	2,4	2,9
Gebiete mit großen potentiellen Wasser-ressourcen	33,8	32,9	26,9	31,9
Gebiete mit geringen potentiellen Wasser-ressourcen	17,6	16,9	9,8	14,0
	100,00	100,00	100,00	100,00

7.4.5 Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt

Das Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt (BIP) ist, wenn auch nur in eingeschränkter Weise, ein Maß für den Wohlstand und die wirtschaftliche Aktivität einer volkswirtschaftlichen Einheit. Zu bedenken ist, dass das BIP nur die wirtschaftlichen Aktivitäten, die mit einem Transfer von Geld verbunden sind, berücksichtigt. Ausnahmen davon sind die Subsistenzlandwirtschaft und das Bewohnen des eigenen Hauses (van Dieren, 1995). Unbezahlte Tätigkeiten im Haushalt bleiben unberücksichtigt, ebenso wie die Degradation der Natur und die Erschöpfung natürlicher Ressourcen. Ein weiteres Problem liegt in der Umrechnung der einzelnen Währungen, die die Kaufkraft in den einzelnen volkswirtschaftlichen Einheiten widerspiegeln muss. Trotz allem ist es sinnvoll, das BIP als Maß für die ökonomische Entwicklung zu verwenden, da es der einzige weltweit anerkannte und nach vergleichbarer Methodik berechnete Indikator ist. Für die im WAVES-Programm eingesetzten Modelle ist das BIP eine Eingabegröße, die u.a. die Wassernutzung, die Investitionen und die Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten beeinflusst.

Abbildung 7.3 zeigt die historischen Wachstumsraten des Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukts von Piauí, Ceará, Brasilien und Lateinamerika seit 1970, die zukünftige Entwicklung in Lateinamerika laut dem globalen Szenario A1 sowie die zukünftige Entwicklung in Lateinamerika und Brasilien in den von uns aufgestellten RS A und B. Seit den achtziger Jahren liegt das Pro-Kopf-BIP in Brasilien knapp über dem Durchschnittswert von Lateinamerika (zu beachten sind die unterschiedlichen Bezugsgrößen 1990-US$ und 1995-US$), wobei die jährlichen Wachstumsraten des Pro-Kopf-BIPs denen von Lateinamerika sehr ähnlich sind. Wir nehmen daher an, dass die zukünftigen Wachstumsraten in Brasilien gleich denen in Lateinamerika sein werden.

Im globale Szenario A1 wurde ein zukünftiges Wachstum des Pro-Kopf-BIPs in Lateinamerika von etwa 4,7% pro Jahr angenommen; der Wert beim Szenario B2 liegt bei 2,9%. Uns erscheinen die hohen Wachstumsraten in beiden globalen Szenarien wenig plausibel. Daher haben wir uns entschieden, von den IPCC-Szenarien abzuweichen und eine Wachstumsrate des Pro-Kopf-BIPs in Lateinamerika und Brasilien von 2,5% pro Jahr für das Referenzszenario A und von 2,0% pro Jahr für das Referenzszenario B während des Zeitraums 1996-2025 anzusetzen. Auch Raskin et al. (1998) verwenden in ihren beiden globalen Szenarien vergleichbare Werte (2,0 und 2,3%) für Lateinamerika.

Das Pro-Kopf-BIP in Piauí (1445 1995-US$ im Jahre 1996) und Ceará (2136 1995-US$) ist bis heute geringer als das in Brasilien (3670 1995-US$) Die Wirtschaftsentwicklung in beiden Bundesstaaten weist starke jährliche Schwankungen auf. Die Wachstumsraten sind in den letzten beiden Jahrzehnten tendenziell gefallen, lagen jedoch meist deutlich über den Wachstumsraten Gesamtbrasiliens (Abb. 7.3). So nahm das Pro-Kopf-BIP in Brasilien von 1997 auf 1998 um 1,1% ab, in Piauí stieg es jedoch um 2,1% und in Ceará um 0,4%. Langfristig betrachtet unterscheidet sich das Wirtschaftswachstums in beiden Staaten nicht signifikant. Wir schließen daraus für RS A und B, dass sich die wirtschaftliche Entwicklung in Piauí und Ceará nicht stark unterscheiden wird, sie aber im Gesamtuntersuchungsgebiet etwas stärker sein wird als die in Brasilien. In Szenarioregionen mit einer starken wirtschaftlichen Entwicklung (vgl. Statusbericht der Arbeitsgruppe Szenarien) wird von einem gegenüber der brasilianischen Entwicklung verstärkten Anstieg des Pro-Kopf-BIPs ausgegangen. Tabelle 7.4 listet die für RS A und B angenommenen Wachstumsraten in den sechs Szenarioregionen.

Tab. 7.4: Szenarien der Wachstumsrate des Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukts in den sechs Szenarioregionen des Untersuchungsgebiets. Die angegebene jährliche Rate wird als konstant angenommen für jedes Jahr zwischen 1996 und 2025.

	jährliches Wachstum des Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukts zwischen 1996 und 2025 [%]	
Szenarioregion	RS A	RS B
Teresina	2,5	2,2
Großraum Fortaleza	2,7	2,2
Küstenregion	2,7	2,2
Süden von Piauí	2,7	2,2
Gebiete mit großen potentiellen Wasserressourcen	2,7	2,4
Gebiete mit geringen potentiellen Wasserressourcen	2,5	2,2

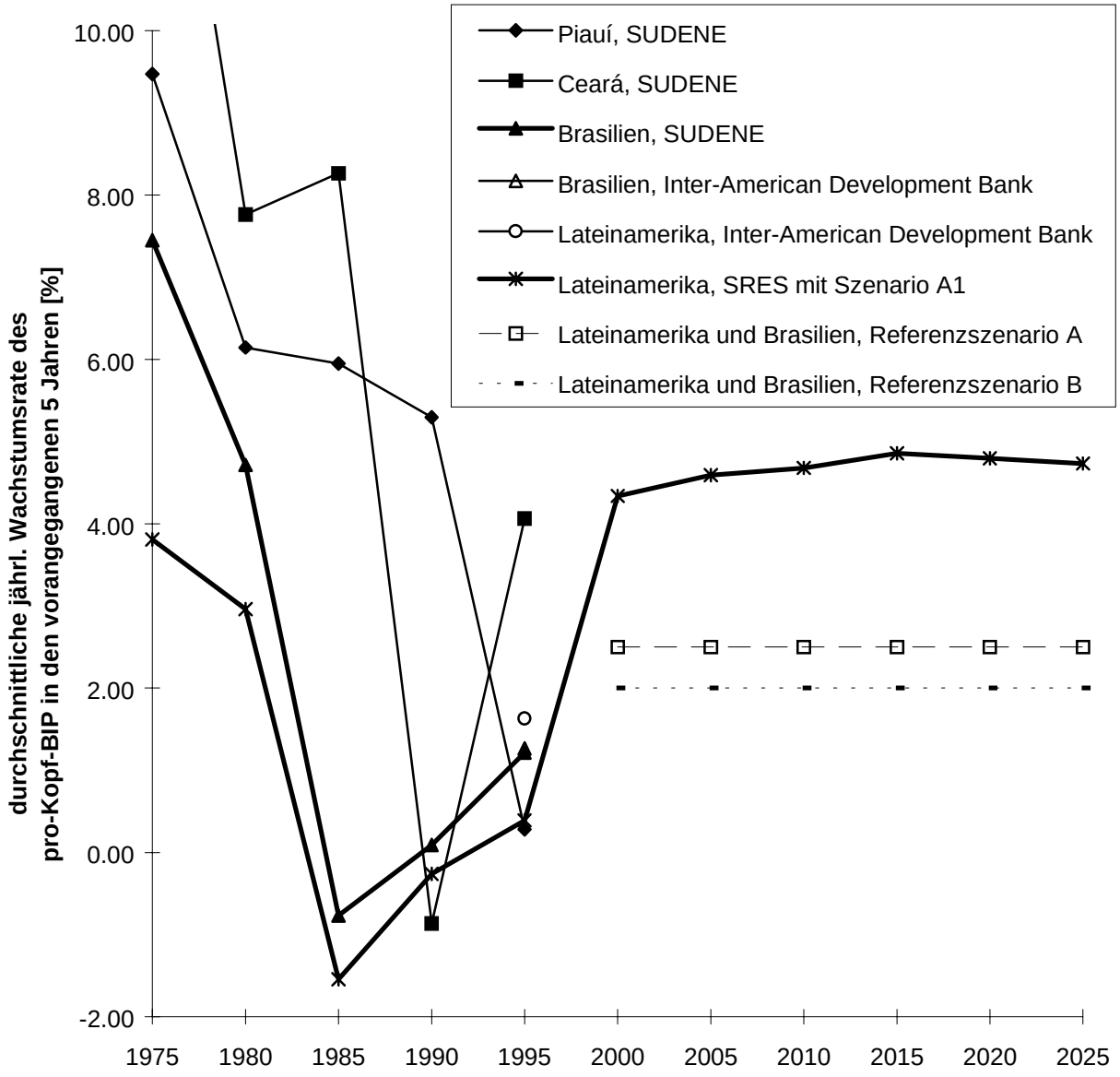


Abb. 7.3: Historische Entwicklung der jährlichen Wachstumsrate des Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukts von Piauí, Ceará, Brasilien und Lateinamerika sowie die Entwicklung in Lateinamerika laut des globalen Szenarios A1 und der Referenzszenarien A und B; eingezeichnet sind jeweils die mittleren jährlichen Wachstumsraten der vergangenen 5 Jahre.

7.5 Interventionsszenarien

7.5.1 Verstärkte Ausdehnung der öffentlichen Wasserversorgung

Um die Lebensqualität in Piauí und Ceará zu erhöhen, werden, vor allem mit Hilfe von Sonderprogrammen der brasilianischen Bundesregierung, heute Anstrengungen unternommen, den Anschlussgrad der Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung zu erhöhen und so für einen immer größeren Anteil der Bevölkerung eine sichere Wasserversorgung zu gewährleisten. So wird in beiden Referenzszenarien davon ausgegangen, dass sich der Anschlussgrad an die öffentliche Wasserversorgung erhöhen wird (Tab. 7.5). In der Tabelle ist auch angegeben, welchem Anteil an der städtischen Bevölkerung der jeweilige Anschlussgrad entspricht. Heute ist nämlich fast ausschließlich die städtische Bevölkerung (Siedlungen über 2000 Einwohner), vorwiegend die der Muniziphauptstädte, angeschlossen. Bei den Referenzszenarien gehen wir

davon aus, dass auch ein kleiner Anteil der ländlichen Bevölkerung, über kleine Wassergewinnungsanlagen und Leitungsnetze, die ordnungsgemäß betrieben werden, mit sicherem Wasser versorgt wird.

Die betrachtete Intervention besteht in einer verstärkten Ausdehnung der öffentlichen Wasserversorgung auf die gesamte städtische Bevölkerung und auf 15% der ländlichen Bevölkerung. Tabelle 7.5 zeigt die sich aus dieser Maßnahme ergebenden Anschlussgrade in den Szenarioregionen. Die verstärkte Ausdehnung der öffentlichen Wasserversorgung verursacht gegenüber den Referenzszenarien erhöhte Kosten und bewirkt eine erhöhte Wassernutzung, die angesichts der mangelnden Wasserverfügbarkeit problematisch sein könnte. Andererseits erhöht sich dadurch die Lebensqualität.

Tab. 7.5: Anschlussgrad der Bevölkerung an der öffentlichen Wasserversorgung.

	Anteil der Bevölkerung, die an die öffentliche Wasserversorgung über das Leitungsnetz angeschlossen ist, in % (in % der städtischen Bevölkerung)				
Szenarioregion	1997	2025 RS A	2025 RS B	2025 Intervention RS A	2025 Intervention RS B
Teresina	93,6 (100)	95 (98)	95 (98)	97	97
Großraum Fortaleza	68,3 (70)	80 (82)	80 (82)	98	98
Küstenregion	30,5 (57)	60 (80)	45 (64)	79	75
Süden von Piauí	41,6 (97)	50 (100)	50 (82)	58	66
Gebiete mit großen pot. Wasserressourcen (Piauí)	41,5 (87)	55 (92)	55 (79)	66	75
Gebiete mit großen pot. Wasserressourcen (Ceará)	37,1 (68)	50 (77)	50 (67)	70	79
Gebiete mit geringen pot. Wasserressourcen (Piauí)	22,1 (76)	30 (81)	30 (71)	46	51
Gebiete mit geringen pot. Wasserressourcen (Ceará)	33,7 (69)	40 (73)	40 (67)	62	66

7.6 Quantitative Indikatoren zur Beschreibung der zukünftigen Situation

Indikatoren beschreiben quantitativ den Zustand eines Systems und sind daher auch geeignet, Zustandsänderungen anzuzeigen. Sie sind die Grundlage für eine Situationsbewertung und deswegen für politische Entscheidungen soweit deren Bewertung notwendig. Beispielsweise wird im allgemeinen das Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt als Indikator des Wohlstands betrachtet und der Erfolg von Maßnahmen an seiner Entwicklung beurteilt. Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung werden seit vielen Jahren aufgestellt und diskutiert (vgl. IISD, 1999). Die United Nations Commission for Sustainable Development entwickelte z.B., den Kapiteln der Agenda 21 folgend, 134 Indikatoren, die für die Anwendung auf Gesamtstaaten gedacht sind. Es besteht jedoch zudem der Bedarf nach einem hochaggregierten, leicht verständlichen Sustainable Development Index, der den Indikator Bruttoinlandsprodukt ergänzen oder ersetzen könnte.

Im Rahmen des WAVES-Programms sind insbesondere solche Indikatoren von Interesse, die einerseits Aussagen zur nachhaltigen Entwicklung im Untersuchungsgebiet machen und andererseits die interdisziplinären Arbeitsergebnisse aus dem Bereich Wasser-Landwirtschaft-Migration nutzen. Beispielhaft wird im folgenden ein Indikator für Wasserknappheit vorgestellt, der Ergebnisse der Modellierung der Wassernutzung mit denen der hydrologischen Modellie-

rung verbindet. Des weiteren werden die Änderungen dieses Indikators in den Referenzszenarien A und B gezeigt sowie die Auswirkung der oben vorgestellten Intervention, nämlich eines verstärkten Anschlusses der Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung.

Als Index für Wasserknappheit wird der Quotient der langjährigen Mittel der jährlichen Gesamtwasserentnahme und der jährlichen Wasserverfügbarkeit in jedem Munizip definiert. Wasserverfügbarkeit im Munizip meint hier die Wasserverfügbarkeit eines Munizips inklusive der Zufluss aus höher gelegenen Munizipien über das Gewässernetz, abzüglich der konsumptiven Wassernutzung aller oberstromig gelegenen Munizipien:

$$Index_Wasserknappheit_i = \frac{Gesamtwasserentnahme_i}{Abfluss_i - \sum_1^n konsumptiveGesamtnutzung_j}$$

i: Munizip, für das Index der Wasserknappheit berechnet wird

j: Munizip, welches oberstromig von Munizip i liegt

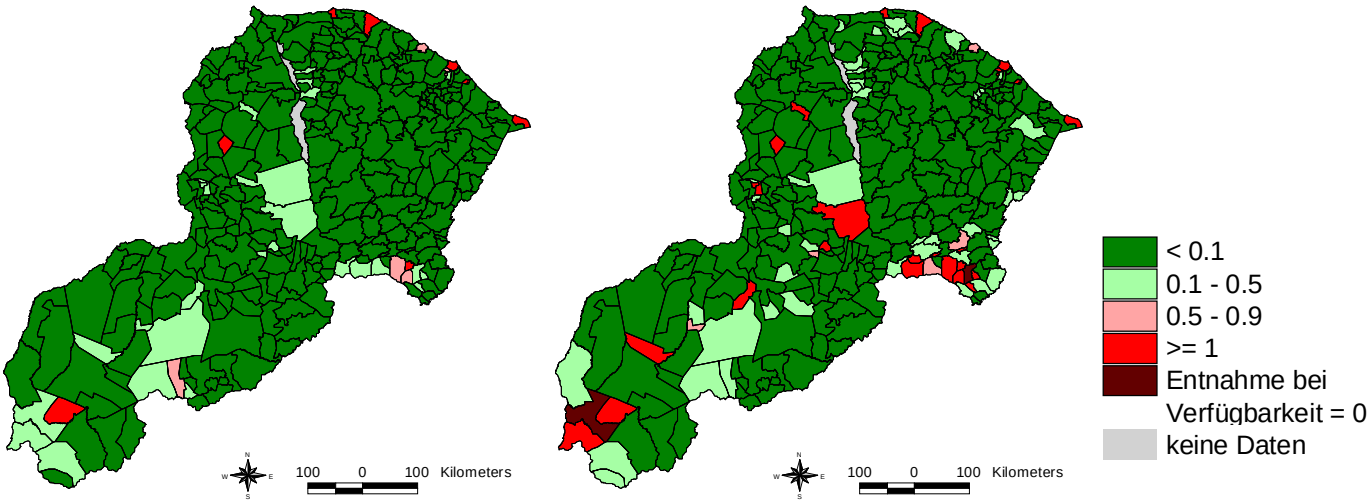
Ein Schwellenwert des Wasserknappheitsindex, ab dem ein kritischer Zustand vorliegt, ist bislang nicht wissenschaftlich abgesichert. Im Rahmen der global angelegten World Water Vision, die zur Zeit von der World Water Commission erstellt wird, wurde vereinbart, dass der kritische Wert (für große Einzugsgebiete) bei 0,4 angesetzt wird.

Ein Nachteil des auf Jahresmittelwerten basierenden Wasserknappheitsindex ist, dass saisonale Engpässe unberücksichtigt bleiben. Allerdings ist er robuster als z.B. ein Index, der auf Monatswerten beruht, vor allem deswegen, weil die Bewirtschaftung von Stauseen bei großskaligen Modellierungen nur angenähert simuliert werden kann.

7.7 Ausgewählte Modellergebnisse

7.7.1 Referenzszenarien

Abbildung 7.4 zeigt den Wasserknappheitsindex heute und im Jahr 2025 unter den Bedingungen des Referenzszenarios A (RSA). Dabei wurde munizipspezifisch für den Ist-Zustand der Wasserknappheit die Wasserentnahme der Jahre 1996-98 sowie der langjährige mittlere Abfluss der Jahre 1951-1980 verwendet, und für das Jahr 2025 die Wassernutzung in diesem Jahr sowie der langjährige mittlere Abfluss im Zeitraum 2011-2040. Für die Berechnung der Bewässerungswassernutzung wurden dieselben Klimaperioden verwendet wie für die Berechnung des Abflusses. In den meisten Munizipien ist sowohl heute als auch im Jahre 2025 der Wasserknappheitsindex kleiner als 0,1, d.h. die jährliche Wassernutzung beträgt weniger als 10% der jährlichen Wasserverfügbarkeit. In wenigen Munizipien übersteigt die Wasserentnahme die Wasserverfügbarkeit an Oberflächenwasser; dies ist wohl zumindest im sedimentären Bereich auf die nicht-nachhaltige Nutzung von Grundwasser zurückzuführen. 2025 ist der Wasserknappheitsindex in 80% der Munizipien größer als heute. In den meisten Munizipien kann die Steigerung der Wassernutzung nicht durch eine klimabedingte Steigerung des Abflusses ausgeglichen werden (in 90% der Munizipien steigt die Wassernutzung, in 53% der Abfluss). Für das Referenzszenario B (RSB) ergibt sich ein fast identisches räumliches Muster wie für RSA.



a b

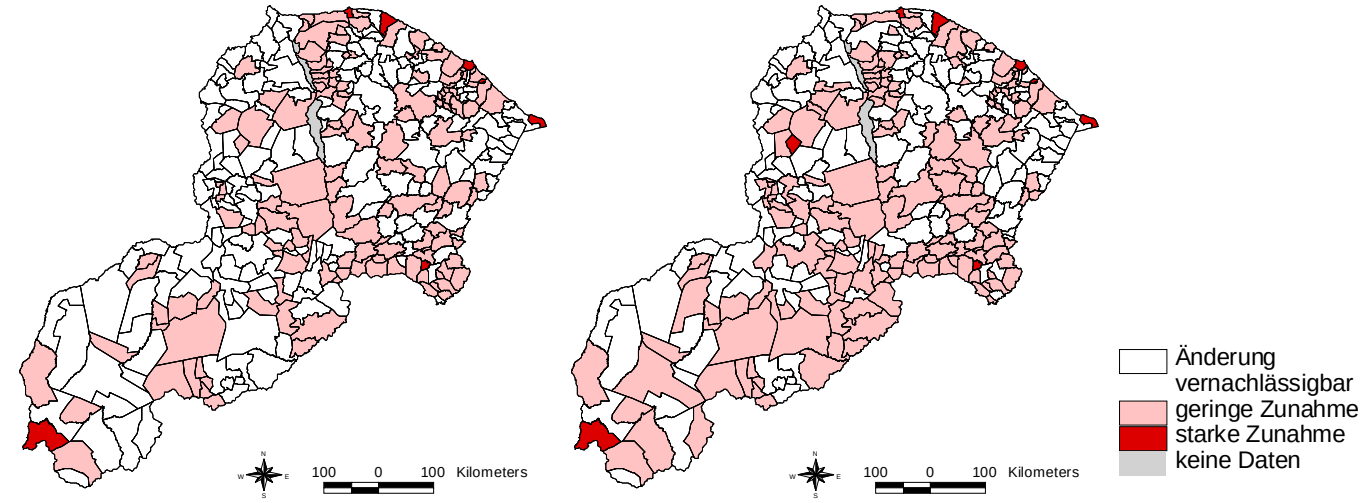
Abb. 7.4: Munizipspezifischer Wasserknappheitsindex unter heutigen Verhältnissen (a) und im Jahre 2025 laut dem Referenzszenario A.

7.7.2 Interventionsszenarien

Die bessere öffentliche Wasserversorgung im Interventionsszenario „Verstärkte Ausdehnung der öffentlichen Wasserversorgung“ führt im Vergleich zu den beiden Referenzszenarien (in denen bereits ein gegenüber heute erhöhter Anschlussgrad angenommen wird) in allen Munizipien zu einer erhöhten Wassernutzung (Tab. 7.6), da angenommen wird, dass angeschlossene Haushalte mehr Wasser verbrauchen als nicht-angeschlossene. Abbildung 7.5 zeigt die räumliche Verteilung der sich daraus ergebenden Änderung des Wasserknappheitsindex im Vergleich zu den Referenzszenarien. Der Wasserknappheitsindex nimmt in den Interventionsszenarien A und B gegenüber den Referenzszenarien in ca. der Hälfte der Munizipien geringfügig um maximal 0,1 zu; in wenigen Munizipien steigt der Index in den Interventionsszenarien stark an, und zwar in Munizipien, in denen die Wasserentnahme bereits in den Referenzszenarien die Wasserverfügbarkeit übersteigt. Im Rest der Munizipien ist der Einfluss der Intervention auf den Index vernachlässigbar. Die Zunahme des Index im Interventionsszenario A gegenüber RSA findet vor allem in Munizipien der Küstenregion und Gebieten mit großen potentiellen Wasserressourcen, dagegen tritt die Zunahme des Index im Interventionsszenario B gegenüber RSB verstärkt im Süden von Piauí und den Gebieten mit geringen potentiellen Wasserressourcen auf. Aus diesen Berechnungen lässt sich schlussfolgern, dass auch ein erhöhter Anschlussgrad der Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung, der ja mit einer Verbesserung der Lebensqualität verbunden ist, nur in ganz wenigen Munizipien zu einer kritischen Erhöhung des Wasserknappheitsindex führen würde und daher unter dem Aspekt der nachhaltigen Wasserversorgung unproblematisch ist.

Tab. 7.6: Wasserentnahmen der Haushalte und Gesamtwasserentnahmen in Ceará und Piauí für 1997 sowie die Referenz- und Interventionsszenarien in 2025

		1997	RSA	RSB	ISA	ISB
C	Wasserentnahme Haushalte [10^6 m³/a]	225,54	296,8	260,48	337,92	303,4
E	Gesamtwasserentnahme [10^6 m³/a]	691,25	1749,39	1668,77	1790,51	1711,69
P	Wasserentnahme Haushalte [10^6 m³/a]	123,57	130,29	125,56	138,07	137,71
I	Gesamtwasserentnahme [10^6 m³/a]	322,35	763,84	751,96	771,62	764,11



a b

Abb. 7.5: Änderung des Wasserknappheitsindex im Interventionsszenario „Erhöhung des Anschlussgrades an die öffentliche Wasserversorgung“ im Vergleich zum jeweiligen Referenzszenario A und B: ISA-RSA (a) und ISB-RSB (b).

7.8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die entwickelten quantitativen Szenarien der treibenden Kräfte der Entwicklung im WAVES-Untersuchungsgebiet bilden die Grundlage für Modellberechnungen der zukünftigen Situation in Piauí und Ceará. Sie liefern die notwendigen Eingangsgrößen für Berechnungen sowohl mit den Einzelmodellen als auch mit den integrierten Modellen. Indikatoren, vor allem solche, die Aussagen zur nachhaltigen Entwicklung ermöglichen und durch die im WAVES-Programm erstellten Modelle berechenbar sind, dienen der Bewertung der heutigen und zukünftigen Situation und sind daher wichtig für politische Entscheidungen, speziell in der Regionalplanung. Der berechnete munizipspezifische Wasserknappheitsindex und seine möglichen Entwicklungen bis zum Jahre 2025 unter zwei Referenzszenarien sowie einer Interventionsmaßnahme ist nur ein Beispiel für die Indikatoren, die in der restlichen Projektlaufzeit berechnet werden. So werden anders definierte Indices der Wasserknappheit (z.B. basierend auf Monatswerten) dargestellt und analysiert werden. Andere Indikatoren werden z.B. die Einkommen aus der Landwirtschaft (pro Betriebsgrößenklasse), die Lebensqualität sowie die Migration beschreiben. Darüber hinaus werden weitere Interventionsszenarien erstellt werden.

8 Diskussion

Im folgenden sollen zunächst die Ergebnisse aus den einzelnen Arbeitsgruppen kurz dargestellt werden. Dann folgt ein Überblick über die interdisziplinäre und bilaterale Zusammenarbeit und die Außenwirkung von WAVES. Schließlich sollen die Ergebnisse der ersten Projektphase abschließend bewertet und identifizierte Defizite aufgezeigt werden.

8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Einzelprojekte

Im Hinblick auf das Gesamtprojekt war in der ersten Projektphase von WAVES die Verknüpfung unterschiedlicher Inhalte auf mehreren Skalenebenen aus den einzelnen Fachbereichen die wichtigste Zielstellung (vgl. Tab. 8.1), wobei die Bearbeitung der thematischen Schwerpunkte an der gemeinsamen Fragestellung orientiert war. Durch fundierte Datenerhebungen, Recherchen und Auswertungen hat jeder Fachbereich eine spezifische Datengrundlage erarbeitet. Mit den Instrumenten des Integrierten Regionalmodells SIM auf der Makroskala bzw. dem Landnutzungsmodell MOSDEL auf der Mesoskala wurden die verschiedenen Datengrundlagen auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen integriert und in Szenarioanalysen dynamisch verarbeitet (vgl. Kapitel 5 bis 7).

Auf der WAVES-Homepage http://www.usf.uni-kassel.de/waves/ ist ein Projekttagebuch einzusehen, dem die Arbeiten und Aktivitäten der Fachbereiche entnommen werden können.

Integrierende Fachbereiche und Arbeitsgruppen

Das wichtigste Ergebnis des **FB Integrierte Modellierung** ist das **S**emi-arid **I**ntegrated **M**odel (**SIM**). Es beschreibt dynamisch, quantitativ und geographisch explizit die Wirkungskette „globaler Wandel - Wasserverfügbarkeit - Lebensqualität – Migration“ in den brasilianischen Bundesstaaten Ceará und Piauí. Das Modell stellt eine Integration der Arbeiten der einzelnen Fachbereiche auf der Makro-/Mesoskala im WAVES-Projekt dar. Verschiedene Module beschreiben das Klima, die wasserbezogenen Prozesse, die Landwirtschaft und die soziokulturellen und ökonomischen Themen. Die räumliche Auflösung ist das Munizip (insgesamt 332 in Ceará und Piauí), die zeitliche Auflösung reicht von einem Tag bis zu einem Jahr. Die wichtigsten Anwendungen des Modells sind Szenarioanalysen zur Beschreibung von regionalen Entwicklungsmöglichkeiten, die in Form von Sensitivitätsstudien begonnen wurden (siehe Kapitel 7).

Im Berichtszeitraum wurde das mesoskalige Simulationsmodell für nachhaltige Landnutzung **MOSDEL** (MOdel for Sustainable DEvelopment of Land use) bezogen auf die Referenzregion Picos vom **FB Landschaftsökologie** entwickelt (siehe Kapitel 5). Durch Aggregation und Verknüpfung eigener Ergebnisse sowie derer anderer Fachbereiche auf der Mesoskala konnte die Wirkungskette von Naturraumpotential, landwirtschaftlicher Produktivität und Wertschöpfung dargestellt werden. Integrative Abfragen, z.B. nach dem Grad einer möglichen regionalen Selbstversorgung, wurden möglich durch die Gegenüberstellung von Standortfaktoren und Nutzungssystemen. Als Beitrag zu MOSDEL und dem regionalen Wasserhaushaltsmodell WARIG erfolgte die GIS basierte Modellierung des Oberflächenabflusses und des Bodenwasserhaushaltes. Die Datenbasis aus der Vorphase wurde erheblich erweitert, aktualisiert und soweit zweckdienlich in das Geographische Informationssystem überführt. Grundgeometrien sowie

zahlreiche Einzelauswertungen und Darstellungen wurden innerhalb des Projektverbundes für Desktop-Anwendungen und als Karten zur Verfügung gestellt.

Szenarien zeigen, auf konsistente und integrierte Weise, wie sich Piauí und Ceará in Zukunft möglicherweise entwickeln werden (siehe Kapitel 7). Im Rahmen der disziplinenübergreifenden **AG Szenarien** wurden, in Absprache mit den brasilianischen Partnern, zunächst qualitative Referenzszenarien bis zum Jahre 2025 entwickelt. Dann wurden die wichtigsten treibenden Kräfte zweier Referenzszenarien („Küstenboom und Cash Crops — Globalisierung“ und „Integrierte ländliche Entwicklung — Dezentralisierung“) quantifiziert, so dass sie als Eingabegrößen für die verschiedenen Modelle des WAVES-Programms verwendet werden können. Dabei wurde die historische Entwicklung der treibenden Kräfte berücksichtigt, und es wurde auf eine stimmige Einbindung in globale Szenarien geachtet. Des weiteren wurde beispielhaft ein Interventionsszenario erstellt, das die Auswirkungen einer bestimmten Maßnahme zeigt.

FB Klimaanalyse(-modellierung

Im Rahmen des **Fachbereichs Klimaanalyse/-modellierung** wurde unter Verwendung des Datenbanksystems ORACLE eine klimatologische Datenbank für die Untersuchungen aufgebaut. Die Neu- bzw. Weiterentwicklung statistischer Verfahren ermöglichte eine komplexe Betrachtungsweise der klimatologischen Vorgänge sowie die Erfassung quasiperiodischer Ereignisse in der Untersuchungsregion. Weiterhin wurde ein Klimaszenarienmodell auf statistischer Basis unter Einbeziehung von großräumigen Informationen zu Klimaänderungen und regionalen Beobachtungsdaten entwickelt, mit dessen Hilfe ein erstes Klimaszenarium für den Zeitraum 2001 - 2050 unter der Annahme „business as usual” berechnet werden konnte. Ein hydrostatisches und ein nicht-hydrostatisches regionales Klimamodell wurden an das Untersuchungsgebiet angepasst, so dass erste Zeitscheibenexperimente für ein El Nino-Ereignis durchgeführt werden konnten. Ein entwickeltes Validierungsschema für dynamische regionale Klimamodelle ermöglichte es außerdem, die Modellergebnisse objektiv zu bewerten und so Fehlerquellen in der Modellanpassung aufzudecken.

FB Wasser

Die drei Arbeitsgruppen im Fachbereich Wasser haben komplementär auf verschiedenen Skalen bestehende Daten zur Ressource Wasser recherchiert sowie neue Daten erhoben. Mit von den Arbeitsgruppen entwickelten Modellen werden Wasserhaushalt und Wassernutzung auf verschiedenen räumlichen Ebenen beschrieben.

Für die Skale der Bundesstaaten Piauí und Ceará wurde durch die **AG großskalige hydrologische Modellierung** ein deterministisches, räumlich differenzierendes, hydrologisches Modell zur Quantifizierung der Wasserressourcen in Oberflächengewässern und der Bodenfeuchte entwickelt. Neben der auf Einzugsgebiete ausgerichteten Modellversion (Diskretisierungseinheiten sind Untereinzugsgebiete) wurde eine für die Einbindung in die Integrierte Modellierung geeignete munizipienbasierte Modellversion (Diskretisierungseinheiten sind Munizipien) erstellt. Ein hierarchischer, geomorphologisch begründeter Ansatz zur räumlichen Diskretisierung von Modellierungseinheiten wurde entwickelt. Dieses modifizierte Hydrotopkonzept und das darauf aufbauende Disaggregationsschema verbindet vertikale und laterale Prozesse auf ihren jeweils typischen Skalenbereichen von der Punkt- bis zur Einzugsgebietsskale. Charakteristische Bedingungen des semi-ariden Untersuchungsraumes sowie die grobe Datenverfügbarkeit werden

dabei berücksichtigt. Alle erforderlichen Modellparameter werden von physiographischen Datensätzen abgeleitet, die für die gesamtstaatliche Ebene in Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen aufbereitet wurden. Eine Kalibrierung des Modells wurde (bisher) nicht durchgeführt. Die vorläufige Modellvalidierung anhand gemessener Abflussdaten ergibt zufriedenstellende Simulationsergebnisse auf verschiedenen Skalenebenen.

Die **AG Großskalige Wassermanagementmodellierung** entwickelte das großskalige Wassernutzungsmodell NoWUM (**No**rdeste **W**ater **U**se **M**odel), das die Wasserentnahme sowie die konsumptive Wassernutzung in allen 332 Munizipien für die fünf Wassernutzungssektoren Bewässerungslandwirtschaft, Viehhaltung, Haushalte, Industrie und Tourismus berechnet. NoWUM ist sowohl ein eigenständiges Modell als auch ein Modul des Integrierten Modells SIM. Mittels NoWUM wurde der Ist-Zustand der Wassernutzung 1996/98 berechnet. Weiterhin wurden unter Berücksichtung des globalen Wandels (Klima, Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt, Preise) verschiedene Wassermanagementszenarien für das Jahr 2025 entwickelt und simuliert. Die Bewertung der Szenarien unter Nachhaltigkeitsaspekten erfolgte anhand wasserbezogener Indikatoren, die von der AG definiert wurden.

Die **AG Wassermanagement und Wasserresourcen** entwickelte das gruppenübergreifende Wasserhaushaltsmodell WARIG für die Fokusregion Picos mit dem zum einen die Ergebnisse der großskaligen Modellierung mit HYMO abgeglichen wird, zum anderen stellt WARIG für das Landnutzungsmodell MOSDEL die notwendige Datengrundlage für die Abschätzung von Wasserdargebot und -qualität dar. WARIG dient darüber hinaus als Planungsinstrument bei der wasserwirtschaftlichen Regionalplanung in Picos. Die durchgeführten hygienischen Trinkwasseruntersuchungen zeigen gekoppelt mit der Analyse der Wasserversorgungsstruktur strukturelle Defizite in den Fokusgebieten. Aus den Untersuchungen werden Indikatoren zur Lebensqualität abgeleitet. Es wurden erstmals extern verschiedene bestehende Umwelt- und Wasserprojekte recherchiert und auf ihre Wirkung hin überprüft.

FB Agrarökosysteme

Zur Erfassung der Ertragspotentiale in den beiden Bundesstaaten wurde in der ersten Projektphase durch die **AG Bodenkunde** in Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen (AG Pflanzenbau, AG Pflanzenernährung, AG Großskalige hydrologische Modellierung, AG Klimaanalyse) mit dem Aufbau des Bodeninformationssystems SPICE (Soil and Land Resource Information System for the States of PIauí and CEará) für die Bundesstaaten Piauí und Ceará begonnen, das neben Bodendaten auch Informationen über die ökologischen Ansprüche von Kulturpflanzen sowie über Klimaparameter enthält. Das Bodeninformationssystem ist derart strukturiert, dass es die zum Teil erhebliche Variabilität des Geländes und der Böden soweit als möglich berücksichtigt. Mit Hilfe des Bodeninformationssystems konnte in der ersten Projektphase ein Überblick über die Bodenausstattung der insgesamt 332 Munizipien in Piauí und Ceará erhalten werden (ackerbauliche Eignung, Bodenqualitätsklassen, Bewässerungseignung etc.). Darüber hinaus wurden auf der Basis des momentanen Datenstandes erste Auswertungen zu den Bereichen Bodenwasserhaushalt (Feldkapazität, nutzbare Wasserkapazität, maximale Durchwurzelungstiefe, kulturpflanzenspezifische Durchwurzelungstiefe) und Ertragspotentiale in Abhängigkeit von Kulturpflanze, Witterung, Boden und Anbauintensität gemacht. Auf der Mikroskala wurde von der AG Bodenkunde das Bodenwassermodell HILLFLOW zur Simulation des Bodenwasserhaushalts auf vier unterschiedlichen Standorten in der Region Picos getestet. Das Simulationsmodell erwies sich nach vorhergehender Kalibrierung auf allen Standorten als

geeignet, um den Bodenwasserhaushalt hinreichend genau abzubilden und wurde zum Abgleich des Bodenwasserhaushaltsmoduls in MOSDEL verwendet.

Die Datenerhebung der **AG Pflanzenbau** im Fokusgebiet Picos konnte trotz zum Teil sehr ungünstiger Niederschlagsverteilung, wie geplant, durchgeführt werden. Der Datenverlust durch den Totalausfall eines Feldversuches wegen mehrerer lang anhaltender Dürreperioden während der Vegetationsperiode 1998 am Talstandort konnte durch Hinzunahme weiterer Versuchsflächen an anderen Standorten im Referenzgebiet kompensiert werden. Nach Abschluss der Vegetationsperiode 1999 liegen nun Wachstums- und Ertragsdaten von Augenbohne (engl. Cowpea, *Vigna unguiculata* Walp.), Mais (*Zea mays* L.), Reis (*Oryza sativa* L.) und Maniok (*Manihot esculenta* Crantz) vor, die auf Bauernfeldern in der Fokusregion erhoben wurden. Die Standorte sind repräsentativ für das Fokusgebiet und weite Teile von Piauí. Mit Hilfe der Felddaten werden zur Zeit Testläufe durchgeführt, um die beiden Pflanzenwachstumsmodelle EPIC und ALMANAC an die Standortbedingungen in Picos (Universität Hohenheim) und Tauá (Universidade Federal do Ceará) anzupassen. Der von der UFC (Universidade Federal do Ceará) entwickelte Cropfile für Cowpea wurde für beide Fokusgebiete erfolgreich getestet. Allerdings ist die Sensibilität der Modelle gegenüber Bodenversauerung enorm hoch, so dass weitere Kalibrierungsarbeiten notwendig sind.

Die **AG Pflanzenernährung** hat die Aufgabe Wachstumslimitierungen durch Nährstoffe auf repräsentativen Standorten zu untersuchen und in die zu überprüfenden Pflanzenwachstumsmodelle einzubauen. Dazu wurden, um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, auf zwei durch die AG Pflanzenbau bearbeiteten Standorten, Düngungsversuche in Mais/Cowpea Mischkultursystemen durchgeführt. Wie oben bereits erwähnt, musste allerdings im, durch ein El-Niño Event geprägten, Jahr 1998 einer der beiden Standorte wegen Wassermangels aufgegeben werden. Die Ergebnisse der Feldversuche deuten auf eine starke Abhängigkeit der Düngeeffekte von Standort und Wasserversorgung hin, die zumindest auf dem nährstoffärmsten Standort vom Pflanzenwachstumsmodell nicht nachgebildet werden. Die bisher durchgeführten Simulationen weisen darauf hin, dass eine Modellanpassung für diesen Standort notwendig sein wird. Entsprechende Modellmodifikationen werden zur Zeit konzipiert.

FB Sozio-kulturelle und ökonomische Analysen

Im thematischen Mittelpunkt der **AG Sozio-kulturelle Analysen** steht die Beschreibung und Erklärung von Wechselwirkungen zwischen Lebensqualität und adaptivem Handeln. Da der gewählte Forschungsansatz problemorientiert ist, beschränkt sich das Set von Handlungsalternativen, über das Aussagen gemacht werden sollen, auf Migration und unmittelbare Alternativen wie z.B. die selbstorganisierte Verbesserung der Lebensbedingungen vor Ort. Neben der Erstellung eines integrativen Konzepts von Lebensqualität und der Formulierung funktionaler Zusammenhänge sowie der Durchführung einer Befragung von Haushaltsvorständen im Untersuchungsgebiet, stand die Entwicklung eines flächenbezogenen Migrationmodells (**MigFlow**) auf der Basis von Lebensqualitätsdistanzen und räumlichen Entfernungen im Mittelpunkt der bisherigen Arbeiten.

Der Teilbereich „Regionales Agrarsektormodell“ in der **AG Betriebs- und Regionalökonomie** erstellte mit der Methode der linearen Programmierung (Programm GAMS) das Agrarsektormodell RASMO (**R**egional **A**gricultural **S**ector **Mo**del of Ceará and Piauí), das den Agrarsektor der Staaten Ceará und Piauí für das Basisjahr und für veränderte mögliche ökologische und

ökonomische Rahmenbedingungen - jeweils für alle Gemeinden der brasilianischen Bundesstaaten Ceará und Piauí und für Betriebsgrößenklassen - abbildet und ökonomische Kenngrößen quantifiziert. Für die hierfür benötigten Daten wurden zusammen mit dem brasilianischen Partner Primärerhebungen in 8 Referenzgemeinden durchgeführt. Zudem wurden Daten anderer Arbeitsgruppen übernommen und Sekundärliteratur vor Ort gesammelt. Aus allen Quellen wurden Daten für das Modell zusammengestellt, bewertet und adäquat in das Modell integriert. Die Ergebnisse von RASMO bilden wesentliche Inputparameter für das Integrierte Modell SIM. Der Teilbereich „Betriebsökonomie“ leistete einen wichtigen Beitrag auf der Mikroskala, d.h. auf der einzelbetrieblichen Ebene, um grundlegende Strukturen, Prozesse und Probleme im Landwirtschaftlichen Betrieb analysieren, verstehen und in Modellen simulieren zu können. Dabei stand im Vordergrund ökologisch und ökonomisch nachhaltige Strategien zu erarbeiten, die langfristig Perspektiven für die landwirtschaftlichen Betriebe aufzeigen und dabei das klimabedingte Produktionsrisiko sowie die schwierigen institutionellen Rahmenbedingungen in dieser Region mit berücksichtigen. Die notwendigen detaillierten Kenntnisse hinsichtlich der Produktionsprozesse und der Betriebsstrukturen der landwirtschaftlichen Betriebe sind in insgesamt achtzig Betrieben in den Fokusgebieten Picos und Tauá erhoben worden.

Tabelle 8.1: Überblick über die wichtigsten Ergebnisse der ersten Projektphase

Fachbereich/ Arbeitsgruppe	Makroskala	Mesoskala	Mikroskala
FB Integrierte Modellierung	Entwicklung Prototypversion Integriertes Regionalmodell SIM		
FB Landschaftsökologie	Erfassung der Straßeninfrastruktur und der zentralörtlichen Erreichbarkeit	Prototypversion Landnutzungsmodell MOSDEL, satellitengestützte Landnutzungsklassifikation	Betreuung zweier Klimastationen
	Aktualisierung der Datenbasis im GIS		
AG Szenarien	Erste Referenz- und Interventionsszenarien		
FB Klimaanalyse	Klimatologische Datenbank, Entwicklung Klimaszenarienmodell, Anpassung regionales Klimamodell		Betreuung dreier automatischer Klimastationen
FB Wasser			
AG Großskalige hydrologische Modellierung	Entwicklung hydrologisches Modell		
AG Großskalige Wassermanagementmodellierung	Entwicklung Wassernutzungsmodell NoWUM		
AG Wassermanagement- und ressourcen		Entwicklung Wasserhaushaltsmodell WARIG,	Trinkwasseruntersuchungen, Strukturanalyse der Wasserversorgung, Evaluierung bestehender Umwelt- und Wasserprojekte
FB Agrarökosysteme			
AG Bodenkunde	Aufbau Standort- und Kulturpflanzendatenbank (SPICE), regionale Abschätzung von Flächenerträgen (EPIC/ITC-LSC/ SPICE)	regionale Abschätzung von Flächenerträgen (EPIC/ITC-LSC/SPICE)	Überprüfung und Anpassung Bodenwasserhaushaltsmodell HILLFLOW Detailerfassung typischer Standorte (Picos/Gilbués)
AG Pflanzenbau			Lokalsortenversuche mit Mais und Cowpea, Überprüfung Wachstumsmodelle EPIC und ALMANAC
AG Pflanzenernährung			Düngeversuche Mais/Cowpea Mischanbau, Überprüfung EPIC / ALMANAC
FB Sozio-kulturelle und ökonomische Analysen			
AG Betriebs- und Regionalökonomie	Entwicklung Agrarsektormodell RASMO	Expertenbefragungen in repräsentativen Munizipien	Betriebserhebungen in Picos und Tauá, Entwicklung Betriebssystematik
AG Soziokulturelle Analysen	Erstellung Konzept Lebensqualität, Entwicklung des flächenbasierten Migrationsmodell MigFlow	Expertenbefragungen, Gemeindeanalysen	Haushaltsbefragungen in Tauá und Picos

8.2 Interdisziplinäre und bilaterale Zusammenarbeit

Organisatorische Strukturen

Gesteuert werden die Aktivitäten in WAVES durch die „Management Boards“ (MB) in Deutschland und Brasilien, denen jeweils ein Sprecher vorsitzt. Die MB´s treffen sich jeweils drei bis viermal pro Jahr und legen die wesentlichen internen Rahmenbedingungen (z.B. generelle wissenschaftliche Ausrichtung, Außenwirkung) des Forschungsvorhabens fest. Eine Abstimmung zwischen dem deutschen und dem brasilianischen MB findet regelmäßig statt. Es wurde mit gutem Erfolg versucht, dass möglichst oft Mitglieder des brasilianischen MB an deutschen Treffen teilnehmen konnten und umgekehrt. Die MB´s mit ihren Sprechern haben sich als wirkungsvolles Steuerungsinstrument erwiesen. Die Kontakte der beiden MB werden zusätzlich verstärkt durch einen direkten Austausch über die beiden Sprecher, Herrn Prof. Luiz Gonzaga und Herrn Prof. Karl Stahr, der sich in den letzten Jahren – gestärkt durch gegenseitige Forschungsaufenthalte - sehr gut entwickelt hat.

Auf institutioneller Ebene wurden während der Projektlaufzeit formale Kooperationsvereinbarungen zwischen Instituten bzw. Universitäten abgeschlossen (Tab.8.2). Diese Vereinbarungen erleichtern besonders den Austausch von Wissenschaftlern und Studenten sowie den Datenaustausch.

Tab.8.2: Innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossene Kooperationsvereinbarungen zwischen WAVES Partnern in Deutschland und brasilianischen Institutionen

Kooperationsvereinbarungen zwischen	
Universität Hohenheim	Universidade Federal do Ceará
Potsdam Institut für Klimafolgenforschung	FUNCEME
Potsdam Institut für Klimafolgenforschung	Universidade Federal do Ceará, Departamento de Ciências Computacionais
Fachbereich Psychologie, GH Kassel	Departamento de Economia Agrícola, Universidade Federal do Ceará
Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim	Laboratório de Análises de Solo, Universidade Federal do Piuaí
Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim	Departamento de Economia Agrícola, Universidade Federal do Ceará
Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim	Departamento de Geografia e História, Universidade Federal do Piauí

Highlights der nationalen und bilateralen Zusammenarbeit

Die nationalen Workshops, die in Deutschland, Teresina und Fortaleza stattfinden, sind wichtige Informations- und Austauschveranstaltungen. In Deutschland sind diese Treffen aufgrund der Entfernungen zwischen den Gruppen von noch größerer Bedeutung als in Brasilien, wo sich alle Gruppen in den beiden Städten Fortaleza und Teresina befinden. In Brasilien steht nach dem Beginn der offiziellen Förderung in September 1998 von zur Zeit 16 Projekten mit 40 Stipendiaten (Tab. 8.3) die Integration der Einzeldisziplinen noch ganz am Anfang. In Fortaleza wurden 1999 regelmäßig stattfindende WAVES Seminare eingerichtet. Die deutschen Workshops finden 3-4 mal pro Jahr statt. Dies ist wegen der großen Entfernung zwischen einzelnen Arbeitsgruppen das organisatorisch Machbare. Daneben gibt es aber unzählige regelmäßig oder unregelmäßig stattfindende Arbeitstreffen zwischen Arbeitsgruppen bzw. Fachbereichen die besonders enge Schnittstellen miteinander haben. Der Datenaustausch zwischen den Gruppen (deutschen wie brasilianischen) erfolgt reibungslos via elektronischem Transfer bzw. Hyper-WAVES.

Viele Feldkampagnen deutscher Wissenschaftler in Brasilien wurden gemeinsam mit brasilianischen Kollegen durchgeführt. Besuche bei Behörden, Politikern, Banken Forschungsinstitutionen und anderen Forschungsprojekten zur Datenaquisition und zu Experteninterviews wurden in der Regel ebenfalls gemeinsam durchgeführt. Deutsche Wissenschaftler besuchten im Rahmen von ca. 40 Forschungsaufenthalten brasilianische Counterparts für längere Zeiträume. Für brasilianische Wissenschaftler war es zu Beginn der ersten Projektphase weitaus schwieriger längere Arbeitsaufenthalte in Deutschland zu finanzieren, so dass nur drei brasilianische Gastwissenschaftler ihre deutschen Counterparts besuchen konnten. Das CNPq zahlte bisher kaum Reisen für brasilianischer Wissenschaftler.

Nachdem die brasilianischen Counterparts ab Herbst 1998 gefördert wurden, hat sich der wissenschaftliche Austausch vertieft. Gemeinsame Workshops im Frühjahr und gemeinsam veranstaltete öffentliche Seminare im Herbst 1999 haben neben dem Informationsaustausch auch die Außenwirkung von WAVES verbessert, die für die Bearbeitung der einzelnen Fachfragen wichtig sind. In den letzen Monaten wurde, gemeinsam mit den brasilianischen Counterparts, begonnen den Kontakt zu möglichen Nutzern der in WAVES entwickelten Instrumente zu vertiefen, um eine mögliche Kooperation zwischen WAVES und z.B. Landesbehörden zu diskutieren.

Tab. 8.3: Zusammenstellung der brasilianischen Teilprojekte nach Fachbereichen (Stand November 1999)

Fachbereich	Titel - Projektleiter	Zahl der Stipendia-ten	Institution
Agrarökosysteme	**Produção e Nutrição de Plantas – LUIZ GONZAGA REBOUÇAS FERREIRA**	5	UFC
Integrierte Modellierung	Análise de migração usando computação simbólica – JÚLIO WILSON RIBEIRO	3	UFC
Integrierte Modellierung	Modelagem do raciocínio prático sob conhecimento incompleto e impreciso em situações de mudanças climáticas – ANA TERESA DE CASTRO MARTINS	3	UFC
Integrierte Modellierung	Resolução de equações lineares de grande porte utilizando processamento paralelo – MAURO CAVALCANTE PEQUENO	4	UFC
Integrierte Modellierung	Visualização científica e modelagem digital de terrenos aplicados ao problema de locação e administração de reser-vatórios de água e estudos ambientais – CRETO AUGUSTO VIDAL	0	UFC
Klimaanalyse	Local seasonal weather conditions in the state of Ceará, generated by downscaling methodologies - Dr. Alberto Geraldo Perreira	0	FUNCEME
Landschaftsökologie	Estudo da Flora e estrutura da vegetação em áreas naturais degradadas e não degradadas, associado com as características dos climas locais, nos municípios sob influência do reservatório de Bocaína - Antonio A. J. Castro	6	UFPi
Landschaftsökologie	Caracterização e avaliação da desertificação nas áreas sobre influência do reservatório de Bocaína-PI - Antonio A. J. Castro	1	UFPi
Landschaftsökologie	Análise geoambiental e avaliação de degradação para um desenvolvimento sustentável dos recursos naturais no estado do Ceará, com enfoque na região de Tauá VLÁDIA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA	3	UFC
Soziökonomische und -kulturelle Analysen	Desenvolvimento regional e agrícola das regiões semi-áridas de Picos (PI) e Tauá (CE)- Francisco de Assis Veloso Filho	2	UFPi
Soziökonomische und -kulturelle Analysen	Educação no semi-árido piauiense: ambiente, comunidade e cultura escolar- Luiz Botelho Albuquerque	3	UFPi
Soziökonomische und -kulturelle Analysen	Disposição a pagar por sistemas melhorados de água destinada ao consumo doméstico em comunidades rurais do município de Tauá – JOSÉ CÉSAR VIEIRA PINHEIRO	1	UFC
Soziökonomische und -kulturelle Analysen	Anàlise da Sustentabilidade Sòcio_Ambiental do Assentamento 1° de Setembro-Tauà, Cearà -Dra. Maria Irles May-orga	1	UFC
Soziökonomische und -kulturelle Analysen	Anàlise Economica da Agricultura Familiar em Areas da de Assentamentos Rurais do Estado do Cearà. - Dra. Maria Irles Mayorga	1	UFC
Wasser	Disponibilidade hídrica do reservatório de Bocaína e impactos provocados por esta obra no ecossistema da região - Valdira de Caldas Brito	3	DHME
Wasser	Modelo matemático de assoreamento dos reservatórios dos estados do Ceará e Piauí – JOSÉ CARLOS DE ARAÚJO	2	UFC
Wasser	Recursos hídricos e seu gerenciamento em três áreas climaticamente distintas: Bocaína/Picos (PI), Tauá e Crato (CE) – HORST FRISCHKORN	1	UFC
Wasser	Avaliação dos custos da água para abastecimento urbano e para irrigação no Ceará e no Piauí – JOSÉ CARLOS DE ARAÚJO	1	UFC

8.3 Außenwirkung

Alle Teilprojekte waren von Beginn an bemüht, sich und ihre Tätigkeiten nach außen zu vertreten, was vor allem durch die Teilnahme an Kongressveranstaltungen erfolgte. Dahinter trat die gruppenübergeordnete Gesamtvertretung des Programmes WAVES etwas zurück, was auch an einer fehlenden Koordinationsstelle lag. In diesen Punkt fließen jedoch mit dem Fortschritt des Gesamtprogrammes immer mehr Initiativen. So war WAVES auf dem Deutschen Tropentag in Berlin 1999 als Block vertreten und es ist eine WAVES-Broschüre und ein mehrsprachiger WAVES-Film entstanden. In Brasilien wurden im November 1999 öffentliche WAVES-Veranstaltungen durchgeführt und es bestehen Planungen zu einer Veröffentlichung von WAVES-Ergebnissen als Sonderdruck der Zeitschrift Global Environmental Change (M. Parry, Ed.).

Die Einbindung von WAVES in der internationalen Forschungslandschaft ist, neben dem Publizieren in der Fachliteratur, einer der wichtigen Wege um die Ergebnisse von WAVES bekannt zu machen und mit anderen Wissenschaftlern über die Forschungsinhalte zu diskutieren. Im Projekt wird daher sehr viel Wert gelegt auf diese Kontakte. Bislang liefert WAVES einen formellen Beitrag an drei internationale Forschungsprojekte. Drei weitere Einbindungen sind im Aufbau.

- Der Beitrag an IHP bezieht sich auf die integrierte Analyse von Wassereinzugsgebieten. Im hydrologischen Bereich wird das Einzugsgebiet als die angemessene größte räumliche Einheit gesehen, um den Wasserkreislauf zu beschreiben. Über die letzten Jahrzehnte ist dabei die Notwendigkeit einer integrativen Herangehensweise immer klarer geworden, wobei die physischen, biologischen und anthropogenen Aspekte des Wasserkreislaufs miteinbezogen werden. Auf diesem integrativen Gebiet hat WAVES einen für IHP interessanten innovativen Forschungsansatz. Die Verbindung von WAVES mit dem IHP besteht u.a. darin, dass die Projektergebnisse direkt in die 5. Phase des IHP, Thema 2 (Ökohydrologie) und Thema 5 (Hydrologie von ariden und semi-ariden Regionen) einfließen werden. Zudem werden momentan zwei weitere Initiativen des IHP formuliert mit direktem Bezug zu WAVES
- Das LBA Projekt versucht die Untersuchungen über die klimatologischen, ökologischen, biochemischen und hydrologischen Systemzusammenhänge im Amazonasgebiet zu ergänzen, die Folgen von Landnutzungsänderungen auf das Funktionieren des Systems sowie die Interaktionen zwischen Amazonia und dem System Erde zu erforschen. Der WAVES Beitrag bezieht sich dabei auf einer methodologischen Diskussion bezüglich der hydrologischen Modellierung von Großeinzugsgebiete, wo die Ansätze von WAVES und LBA verglichen werden, und auf Beiträge zu Szenarienstudien der Landnutzungsänderung, wo erfahrungsgemäss Einwanderer aus dem Nordosten in das Amazonasgebiet eine signifikante Rolle spielen. Durch die direkte naturräumliche und methodische Ergänzung von LBA und WAVES werden Synergieeffekte angestrebt.
- Im IDNDR liegt der Focus auf der Erforschung von Naturkatastrophen und der potentiellen Vorsorge bzw. der Bewältigung der Folgen. Dabei bringt WAVES mit dem thematischen Schwerpunkt „Dürrekatastrophen“ eine interessante Erweiterung der in diesem Bereich üblichen Themen wie Überschwemmungen oder Erdbeben.

Einbindungen die im Moment angegangen werden betreffen das *Inter-American Institute for Climate Change Research* (IAI) und das Projekt *Land Use and Land Cover Change* (LUCC) vom IGBP und IHDP. Diese Kontakte würden die Einbindungen auch thematisch erweitern.

- Die Aufgaben des IAI liegen bei der Klimaforschung und Klimafolgenforschung, wobei integrative Forschung ein Hauptpunkt der wissenschaftlichen Agenda ist, wofür aber noch Projekte gesucht werden. Ein Vorschlag für Zusammenarbeit auf diesem Gebiet wurde positiv

empfangen und wird diskutiert bei einer Sitzung der Science Advisory Committees im Mai 2000 wird sich WAVES präsentieren.

- Das Projekt LUCC versucht die naturwissenschaftliche Forschung auf den Gebieten der natürlichen Vegetation und Agrarproduktion mit (agrar)ökonomischen und gesellschaftlichen Aspekten der Landnutzung zu verbinden. In diesem Projekt könnte sich die in WAVES entwickelte Beschreibung der Landnutzungsdynamik in Abhängigkeit von klimatischen, ökologischen und sozioökonomischen Faktoren im integrierten Rahmen profilieren.
- Ferner wurden Kontakte zum IGBP Kernprojekt Global Change and Terrestrial Ecosystems (GCTE) Focus 3 Agriculture, Forestry and Soils aufgebaut. Der Fachbereich Agrarökosysteme ist in den Aufbau des GCTE Tropical Cereals Network involviert

8.4 Bewertung der Ergebnisse und identifizierte Defizite

8.4.1 Bewertung der Ergebnisse des Gesamtprojekts gegenüber den Projektzielen

Im Programm WAVES sollen „am Beispiel semiarider Regionen der Staaten Piauí und Ceará, die von stark begrenzten Ressourcen, von ausgeprägten Klimavariationen und von u.a. hieraus resultierenden, sozialen Stress-Situationen gekennzeichnet sind, mögliche Pfade einer nachhaltigen, gemeinsamen Entwicklung von Natur und Gesellschaft aufgezeigt werden“ (Deckantrag WAVES, 1996). Dieses generelle Ziel wird mit einem interdisziplinären und bilateralen Projekt verfolgt, welches neben den thematischen-wissenschaftlichen Zielen hohe Ansprüche an die internationale wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit auf verschiedenen Ebenen (Länder, Fachbereiche, Skalen) stellt.

Wissenschaftliche Ansprüche des Gesamtprojekts

Das Programm hat neben einer Vielfalt von Einzelzielen der Fachbereiche drei innovative Formen der gruppenübergreifenden Integration der Ergebnisse aus der Verbindung von Fachbereichsarbeit und abstrahierten Resultaten (Punktergebnisse, Betriebs-, Haushalts- und Regionalmodelle) entwickelt:

- Das GIS-basierte Landnutzungsmodell MOSDEL auf der Mesoskala
- Das Integrierte Modell SIM auf der Makroskala
- die Szenarienentwicklung.

Diese drei fachübergreifend und bilateral, integrierenden Ansätze wurden gemäss den Programmzielen erfolgreich entwickelt und sind technisch gesehen funktionsfähig. Die drei Ansätze ergänzen sich räumlich und inhaltlich und decken so verschiedene Ansprüche (auch der potentiellen Nachfrager) an das Programm WAVES ab.
MOSDEL ist die Entwicklung einer speziellen anwendungsorientierten Applikation auf der Basis bestehender GIS Software. Für WAVES ist MOSDEL das Instrument um Auswirkungen regionaler Wassermanagementstrategien oder auch mögliche zukünftige Entwicklungen auf der Mesoskala darzustellen und Optimierungsvorschläge für eine nachhaltige ländliche Entwicklung (die eine nachhaltige Wassernutzung einschließt) in der Referenzregion Picos zu testen und zu visualisieren. Hier liegt der besondere Wert der Lösung, die auf verfügbarer und leicht nutzbarer Software basiert: die Einsatzmöglichkeiten dieser Applikation sind bei der Regionalplanung wesentlich und haben bei der Vorstellung in Brasilien vor Behördenvertretern großes Interesse gefunden (z.B. Seminar „WAVES no Piauí“, Teresina 16.11.1999, u.a. mit Teilnahme des Landwirtschaftsministers von Piauí).
Die Bedeutung des Integrierten Regionalmodells SIM für die Wissenschaft liegt darin, dass Modelle verschiedener Fachgebiete gekoppelt werden, und so eine Entwicklungsaussage über komplexe Systeme auf Landesebene gemacht werden kann. Die Entwicklung des Integrierten

Modelles innerhalb von WAVES ist ohne Zweifel eines der wissenschaftlichen Besonderheiten des Programms und wird so auch in der wissenschaftlichen Diskussion gesehen (z.B. öffentliche Diskussion im Rahmen des 1. Bilateral Workshop „Water Management – Scientific cooperation between Germany and Brazil“, Hannover 28-29.10.99). Das Modell SIM läuft in einem vorläufigen Stadium und lässt erste Simulationen zu.
Die Szenarien haben sich im Laufe der ersten Projektphase zu einem Hauptthema und Hauptwerkzeug in der Betrachtung der Entwicklungsansätze und –möglichkeiten entwickelt. Bei dieser gruppenübergreifenden Arbeit ist, vor allem durch die Einrichtung von Szenariengruppen in Brasilien, die Diskussion über mögliche Rahmenbedingungen zukünftiger Entwicklungen besonders erfolgreich (z.B. WAVES-Workshops in Fortaleza und Teresina April 1999). Die Mitarbeit der brasilianischen Kollegen werden bei der Bewertung von Prozessen und der Ableitung entsprechender Indikatoren sichtbar und sind von besonderer Bedeutung. Die Bedeutung von Szenarienarbeit und den dazu grundlegenden Arbeiten, wie z.B. Bewertungsmethoden und transsektorale Entwicklung von Leitzielen, wird in Zukunft in Forschungskooperationen zunehmen, so dass die Erfahrungen die in WAVES gemacht werden ein wesentlicher Beitrag für dieses Thema sind.
Über die integrierenden Ansätze im Programm WAVES hinaus, sind eine Vielzahl von wissenschaftlich und technisch innovativen Einzelergebnissen aus der ersten Projektphase hervorgegangen. Diese Teilergebnisse sind, neben den Kurzformen in diesem Bericht (Kapitel 8.1), in den Zwischenberichten, in Vorträgen und Publikationen sowie im Rahmen von Diplomarbeiten und Doktorarbeiten dargestellt.

Bilaterale, fächerübergreifende Forschungskooperation

Ein Vorhaben dieser Größe und Komplexität ist erforderlich, um die im Deckantrag festgelegten Zielerwartungen zu erfüllen, die unter anderem aus den aktuellen Vorgaben der internationalen Umwelt- und Forschungspolitik abgeleitet wurden. Die Problematik und Lösung von Fragen der Integration von Fachdisziplinen, Skalen und internationalen Arbeitsgruppen ist eine der wesentlichen Herausforderungen des Projektes. Von der Bewertung her muss die erfolgreiche Lösung dieser Herausforderung direkt neben den eigentlichen wissenschaftlichen Inhalten stehen.
Insgesamt muss bei einer kritischen Betrachtung der bilateralen und interdisziplinären Aktivitäten festgestellt werden, dass zu Beginn der ersten Projektphase die einzelnen Fachbereiche schwerpunktmäßig die Aufgaben des eigenen Fachbereiches bearbeitet haben, dass aber vor allem seit 1999 die Verknüpfung zwischen den Fachgruppen innerhalb Deutschlands und die Zusammenarbeit mit den brasilianischen Counterparts (die aber erst seit Ende 1998 gefördert werden) auf allen Ebenen verstärkt wurde. Die brasilianischen WAVES Projekte stehen nach Beginn der Förderung Ende 1998 noch am Anfang der integrativen Zusammenarbeit, vergleichbar mit der Situation in Deutschland zu Beginn des Programms. In Deutschland haben gruppenübergreifende Ansätze wie die Szenarienarbeit und die Integrierte Modellierung aber auch die gemeinsame Vertretung des Programms nach außen einen besonderen Stellenwert bekommen, so dass insgesamt die Zusammenarbeit auf einem sehr guten Weg ist, der noch viele Möglichkeiten der Vertiefung bietet.

8.4.2 Identifizierte Defizite

Aufgrund des Projektumfanges waren Herausforderungen auf verschiedenen Ebenen gestellt, die nicht alle in der zur Verfügung stehenden Zeit und mit den zur Verfügung stehenden Mittel mit vollem Erfolg gelöst werden konnten. Dabei lassen sich grob strukturelle Defizite von Planungsdefiziten und Arbeitsdefiziten trennen.

Als strukturelles Defizit ist zu benennen, dass für ein Programm dieser Komplexität eine Koordination zwingend notwendig ist. Mängel und Verzögerung in der Abstimmung innerhalb

Deutschlands, innerhalb Brasiliens und zwischen Deutschland und Brasilien hätten gerade in der Anfangszeit des Projektes minimierte werden können; die Außenwirkung des Programms WAVES hätte vom ersten Tag einen „hauptamtlichen" Vertreter gehabt. Zu den strukturellen Problemen muss auch die späte Förderung der brasilianischen Counterparts und die Mittelbeschränkung z.B. bei den Reisekosten in Brasilien aufgrund der Wirtschaftskrise gesehen werden. Strukturelle Defizite sind letztendlich von niemandem zu verantworten und wurden von WAVES so gut es ging gelöst.

Als Planungsdefizit innerhalb der WAVES-Planung ist das Fehlen von wichtigen Fachdisziplinen zu nennen, die für eine integrative Entwicklungsplanung von großer Wichtigkeit sind: Fernerkundung zur Flächenansprache auf der Makroskala, Wasserqualität als Restriktion der Wasserverfügbarkeit auf der Makroskala, Viehhaltung als wesentliche landwirtschaftliche Nutzungsform und nichtagrarische Makroökonomie als wichtiger Entwicklungsfaktor. Zu Beginn der Arbeit war klar, dass WAVES kein Gesamtmodell des Nordostens erstellen kann, sondern dass wir uns auf wesentliche Parameter und Prozesse hinsichtlich der Problemstellung beschränken müssen. Wir erkennen jedoch heute, in Anbetracht der vorliegenden Ergebnisse und der geleistetesten Arbeit, wobei vor allem auch die Szenarienarbeit zu nennen ist, dass die oben genannten Themen bei der Beschreibung der charakteristischen Eigenschaften des Nordostens fehlen und nur bedingt durch Annahmen und Abschätzungen für die Entwicklung von Gesamtszenarien ersetzt werden könne.

Arbeitsdefizite sind im einzelnen dort zu analysieren, wo sie in den einzelnen Fachbereichen aufgetaucht sind (siehe Statusberichte der einzelnen Arbeitsgruppen). Generell lässt sich sagen, dass in der ersten Projektphase von WAVES wesentliche Daten erhoben und wesentliche Werkzeuge erstellt wurden um Wechselwirkungen und vernetzte Entwicklungshemmnisse durch Simulationen möglicher Zukünfte zu identifizieren und eine datenbasierte, umsetzungsorientierte Entwicklungsplanung in die Diskussion mit den Landesplanern einzubringen. Bisher wurden die meisten der entwickelten Fachmodelle nicht oder nur unzureichend geprüft bzw. validiert. Eine Übertragung der Ergebnisse und Methoden auf andere Untersuchungsgebiete ist bis jetzt nur mit Teilmodellen möglich. Die Ursachen für dieses, vor allem zeitliche Defizit im Projektablauf, sind zum einen in der verspäteten Förderung der Counterparts zu finden. Der Aufwand zur Erhebung von Primär- und Sekundärdaten wurde von beiden Seiten unterschätzt. WAVES war in seiner bisherigen Tätigkeit stark mit der Entwicklung von Instrumenten, Konzepten und Strategien der Integration wissenschaftlicher Inhalte beschäftigt, was aufgrund der komplexen Struktur und Fragestellung auch gar nicht anders möglich war. Dadurch wurde der Kontakt zu den „Nachfragern" und potentiellen Nutzern der WAVES-Lösungsstrategien, die naturgemäß ein wichtiger Teil des Gesamtkonzeptes sind, erst zum Ende der ersten Projektphase gesucht (z.B. Veranstaltung „WAVES no Piauí" in Teresina oder „Dia de Àgua e Agricultura" in Picos).

Die Bewertung von WAVES kann auf zwei Fragen verkürzt werden, die das Programmziel im Auge haben:

1. Trägt WAVES aktuell mit innovativen Ansätzen zur internationalen Klimawirkungsforschung bei?
2. Werden im Rahmen des Forschungsprogramms WAVES Instrumente zur Optimierung der Landesentwicklung bereitgestellt?

Der vorliegende Bericht zur ersten Hauptphase zeigt, dass WAVES durch den integrativen Ansatz in der Klimafolgenforschung neue innovative Wege der transsektoralen Forschung beschreitet. In der Landesentwicklung wurden erste Diskussionen geweckt und es besteht von Seiten der Behörden großes Interesse an einem Austausch. Die weitere Überprüfung und Vali-

dierung der entwickelten Modelle und integrativen Ansätze muss nun einhergehen mit der Beteiligung der potentiellen Nachfrager für die in WAVES entwickelten Instrumente.

9 Ausblick und Planung der zweiten Hauptphase

Aus der in Kapitel 8 durchgeführten Bewertung der Erfolge und Nennung der Defizite leitet sich das weitere Vorgehen für die restliche Laufzeit der ersten Projektphase ab: Verbesserung der Außenwirkung, Vertiefung der bilateralen Zusammenarbeit, Ausarbeitung der Modelle, Abschluss der Feldarbeiten, Ausarbeitung der Szenarien, weitere Testläufe mit Einzelmodellen, mit dem Integrierten Regionalmodell SIM und dem Landnutzungsmodell MOSDEL.

Die Verbesserung der Außenwirkung setzt auf eine gute Vorbereitung auf. Im März 2000 findet ein internationaler WAVES-Workshop in München statt, der der Ergebnispräsentation der bisherigen Arbeiten dient. Im Juni ist ein nationaler Integrations-Workshop geplant, der der Vorstellung der Ergebnisse und der Bearbeitung der drei Integrationsebenen dient. Im September folgt dann ein großer Workshop der drei großen bilateralen Wissenschaftsprogramme zwischen Brasilien und Deutschland SHIFT / WAVES / MADAM in Hamburg auf dem die Bereiche der Klimafolgenforschung, der Integration, der Skalierung und der Landesentwicklung von WAVES vertreten werden. Neben diesen großen WAVES- spezifischen Veranstaltungen werden Einzelergebnisse aber auch gruppenübergreifende Arbeiten auf nationalen und internationalen Veranstaltungen vorgestellt. Daneben sind zahlreiche Publikationen eingereicht bzw. in Vorbereitung. Gemeinsam mit den brasilianischen Kollegen werden nun die ersten Ergebnisse publiziert. Es wird darauf hingearbeitet ein Themenheft in der Zeitschrift *Global Environmental Change* zu gestalten. Im März werden der WAVES-Film und die WAVES-Farbbroschüre fertiggestellt sein, die auf verschiedenen Veranstaltungen, unter anderem im Rahmen der EXPO 2000, gezeigt bzw. verteilt werden sollen und ohne Zweifel helfen werden die WAVES-Inhalte und Ergebnisse einem breiten Publikum zu vermitteln.

In der restlichen Laufzeit von 6 Monaten werden die gerade aufgebauten Kontakte zu den Landesinstitutionen vertieft und ausgebaut. Ziel ist es zu zeigen, dass WAVES nicht nur die Basisdaten dieser Institutionen benötigt (wie dies bisher oft empfunden wurde), sondern im Gespräch mit den Institutionen Anwendungen für die Institutionen erarbeiten kann. Die Kontakte zu den wichtigen staatlichen Behörden DNOCS, SUDENE oder CPRM sind hergestellt ebenso wie zu den jeweiligen Landesbehörden für die Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Landesentwicklung. Nun gilt es diese Kontakte zu fruchtbaren Kooperationen zu führen.

Nach dem die Einbindung von WAVES in die internationalen Programme IHP/UNESCO und LBA/BAHC gelungen ist, werden momentan auch zu dem Programm LUCC und zu dem im Aufbau befindlichen Netzwerk „Tropical Cereals" des GCTE/IGBP Kontakte aufgebaut.

Selbstverständlich stehen bei allen Bemühungen um das Gesamtprojekt die Weiterführung der gruppeninternen Arbeiten im Vordergrund. In einzelnen Bereichen der Landwirtschaft und Wasserwirtschaft fehlen noch wichtige Geländedaten aus der Regenzeit und Erntezeit im Frühjahr 2000 um die bestehenden Modelle zu kalibrieren. Damit werden die Modelle sowie die Schnittstellen zwischen den Modellen verbessert werden. Im Zentrum der Bearbeitung steht jedoch die Simulation möglicher Zukunftsszenarien auf der Basis der Vorgaben der Szenariogruppe (siehe Kapitel 7). Die quantitativen Ergebnisse der Modellierung fließen wiederum zur qualitativen Beschreibung der Auswirkungen eines „Global Change" in die Szenariengruppe zurück, wo sie zur Diskussionsbasis für Entwicklungsplanung reifen.

Eine weitere Projektphase wäre nicht nur wünschenswert sondern notwendig, wenn die nun in WAVES entwickelten Instrumente validiert und in die Anwendung kommen sollen. Die Erfolgsaussichten dafür sind gut, zumal inzwischen der materielle und ideelle Einsatz auf brasilianischer Seite außerordentlich hoch ist (5 Projekte mit 15 Stipendiaten in Piauí und 12 Projekte mit 25 Stipendiaten in Ceará).

Der Schwerpunkt einer weiteren Phase sollte in der Anwendung, Ergänzung und Verbesserung der integrierten Modelle einschließlich ihrer Teilmodelle liegen. Dies schließt die Beteiligung von brasilianischen Behörden bei der Weiterentwicklung und Anwendung der Modelle ein. Außerdem müssen mit diesen Institutionen die bisherigen Szenarien verbessert und im Hinblick auf nachhaltige Entwicklung bewertet werden. Zur Weiterentwicklung der Modelle werden bisher nicht abgedeckte Bereiche wie Fernerkundung, außerlandwirtschaftliche Ökonomie und Tierproduktion Berücksichtigung finden müssen. Fernziel wird es sein, zum einen ein „Decision Support System“ für eine nachhaltige Entwicklung der natürlichen und sozialen Systeme gemeinsam mit den Entscheidungsträgern im Nordosten Brasiliens aufzubauen, das außerdem als wissenschaftlich fundierte Grundlage für ähnliche Modelle in anderen Regionen der Erde dienen könnte.

10 Literatur

Alcamo, J., Kreileman, G.J.J.; Krol, M.S. and Zuidema, G. (1994). Modeling the global society-biosphere-climate system: Part 1: Model description and testing, Water, Air, and Soil Pollution. 76, p1-35.

Araújo, J. C. de; Ribeiro, A. L. (1996). Assessment of water losses in rivers in semi-arid. Proceedings of the III Simp. Recursos Hídricos Nordeste. Salvador, Brazil. p. 215-221.

Beltrão, V.; Lamour, C. (1985). Uso atual e potencial dos solos do Nordeste. Recife. (SUDENE).

BGR. (1977). Grundlagen und Möglichkeiten der Landentwicklung in Trockengebieten des Staates Piauí/Nordost-Brasilien. Deutsche Hydrologische Mission in Recifé 1974-1977. Endbericht. Hannover.

Blöschl, G. (1996). Scale and Scaling in Hydrology. Wiener Mitteilungen Wasser, Abwasser, Gewässer. Band 132. Wien. (TU Wien).

Briesemeister, D. et al. (Eds.) (1994). Brasilien heute. Politik, Wirtschaft, Kultur. Frankfurt am Main. (Vervuert Vlg.).

Bronstert, A. (1994). Modellierung der Abflussbildung und der Bodenwasserdynamik von Hängen. IHW 46: 193 S. Universität Karlsruhe.

Brühl, D. (1985). Dürre – Modernisierung – soziale Macht. Zu den Ursachen des Elends im brasilianischen Nordosten. In: Brasiliens Agrarfrage, Modernisierung und ihre Folgen. Hamburg (Institut für Iberoamerikakunde). S. 27-37.

Brühl, D. (1989). A terra era nossa vida - Armut und Familie in Nordostbrasilien. Eine Untersuchung zum familiären Wandel im Stadt-Land-Vergleich. Frankfurt a.M. (Verlag für interkulturelle Kommunikation).

Chiang, W.H. and Kinzelbach, W. (1993). Processing Modflow (PM), Pre- and postprocessors for the simulation of flow and contaminants transport in groundwater system with MODFLOW, MODPATH and MT3D. Users manual.

DATASUS (1998). Recursos Federais do SUS (Sistema Único de Saúde). URL: http://www.datasus.gov.br/

FAO (1979). Land evaluation criteria for irrigation. World Soil Resources Report, No. 50, FAO, Rome. 219 S.

Fundação Getulia Vargas, URL: http://fgvdados.fgv.br

Gregory, P.J., Ingram, J.S.I., Campbell, J., Goudriaan, J., Hunt, L.A., Landsberg, J.J., Linder, S. Stafford Smith, M., Sutherst, R.W. und Valentin, C. (1999). Managed production systems. In: Walker, B. Steffen, W.L., Canadell, J. and Ingram, J. (eds.). The Terrestrial Biosphere and Global Change - Implications for natural and managed ecosystems. Cambridge (Cambridge University Press). S. 229-270.

Haber, W. (1993). Menschliche Einflüsse auf Hochgebirgsökosysteme. Biologie in unserer Zeit, 23. Jhg. 5/1993.

Hall, A.L. (1976). Drought and irrigation in Northeast Brazil. Cambridge Latin American Studies. Cambridge. (Cambridge University Press).

Hastenrath, S., (1991). Climate Dynamics of the Tropics. Dordrecht, Boston, London (Kluwer Academic Publishers).

Hees, W. (1996). Grundlos für Großgrund. Die unendliche Geschichte der Agrarreform. Blätter des IZ3W. Heft 215. S. 9-11.

Hörmann, G. (1999a). The SIMPEL soil water spreadsheets: defining the low end of hydrologic computing. Ecosystem Research Center Kiel. URL: http:/www.pz-oekosys.uni-kiel.de

Hörmann, G. (1999b). Simpel - Speichermodelle zum Bodenwasserhaushalt; Ecosystem Research Center Kiel. URL: http:/www.pz-oekosys.uni-kiel.de

IBGE (1985). Censo Agropecuário 1985. Rio de Janeiro.

IBGE (1991). Censo Demográfico 1991. Rio de Janeiro.

IBGE (1992). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 1992. Rio de Janeiro

IBGE (1996a). Taxa Bruta de Mortalidade. URL: http://www.datasus.gov.br/cgi/idb97/demog./a11.htm.

IBGE (1996b). Taxa Bruta de Natalidade. URL: http://www.datasus.gov.br/cgi/idb97/demog./a07.htm.

IBGE (1996c). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 1996. Rio de Janeiro

IBGE (1996d). Minimum National Social Data Set. URL: http://www.ibge.gov.br/english/

IBGE (1997a). Brasil em números. Rio de Janeiro.

IBGE (1997b). Censo demográfico 1991. Famílias e domicílios, N°10-Piauí, Rio de Janeiro

IBGE (1997c). Censo agropecuário 1995-1996, número 10-Piauí, Rio de Janeiro

IBGE (1997d). Contagem da População. Rio de Janeiro.

IBGE (1998b). Base de informações municipais (1996) [CD-ROM], Rio de Janeiro.

IBGE (1998a). Censo Agropecuário 1995/96. Rio de Janeiro.

IISD (International Institute for Sustainable Development) (1999). Beyond delusion: Science and policy dialogue on designing effective indicators for sustainable development. Sustainable Development, 25(1).

Inter-American Development Bank (1999). URL: http:/www.iadb.org.

IPCC (1997). IPCC Special Report - The regional impacts of climate change: An assessment of vulnerability. Summary for policymakers. IPCC Working Group II, Geneva, Switzerland. URL: http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm.

IPCC (1998). The Regional Impacts of Climate Change: An assessment of vulnerability, Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. und Dokken, D.J. (Hrsg.). Cambridge (Oxford University Press). IPCC (Intergovernmental Panel on Cliamte Change).

Leggett, J., W.J. Pepper and R.J. Swart (1992). Emission Scenarios for the IPCC: An Update. In: IPCC, Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge. (Cambridge University Press).

Magalhaes, A.R., Filho, F.C., Garagorry, F.L., Gasques, J.G., Molion, L.C.B., Neto, da S.A., Nobre, C.A., Port, E.R., Reboucas, O.E. (1988). The effects of climatic variations on agriculture in Northeast Brazil. Part III in: M.L. Parry, T.R. Carter & N.T. Konijn (eds.): The Impact of Climatic Variations on Agriculture, Vol. 2: Assessments in Semi-Arid Regions. Kluwer Academic Publishers, 273-380.

Mahlman, J.D. (1997). Uncertainties in projections of human-caused climate warming. Science 278. pp. 1416-1417.

McDonald, M.C. and Harbaugh, A.W. (1988). MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey. Open-file report 83-875, Chapter A1.

Minx, E.; Neuhaus, Ch., Waschke, T. (1993). Vom Brückenbauen oder: Wie machbar ist Interdisziplinarität? Organisationsentwicklung. Heft 1/93. pp. 52-64.

Parry, M.L., Carter, T.R. and Konjin, N.T. (Ed.) (1988). The Impact of Climatic Variations on Agriculture, Vol. 2. Dordrecht, Boston, London (Kluwer Academic Publishers).

Peterson, G., Alessandro De Leo, G., Hellmann, J.J., Janssen, M.A., Kinzig, A., Malcolm, J..R., O'Brian, K.L., Pope, S.E., Rothman, D.S. Shevliakova, E.; Tinch, R.R.T.. (1997). Uncertainty, climate change, and adaptive management. Conservation Ecology [online] 1(2): 4. URL: http://www.consecol.org/vol1/iss2/art4.

PNUD; IPEA; FJP; IBGE (1998). Desenvolvimento humano e condições de vida: Indicadores Brasileiros, Brasília.

Raskin, P.; Gallopin, G., Gutman, P., Hammond, A., Swart, R. (1998). Bending the curve toward global sustainability, SEI Report 8, Stockholm.

Röckner, E., Arpe, K., Bengtsson, L., Christoph, M., Claussen, M., Dümenil, L., Esch, M., Giorgetta, M., Schlese, U., Schulzweida, U. (1996). The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present day climate. MPI-Report No. 218, MPI für Meteorologie, Hamburg.

Root, T.L. und Schneider, S.H. (1995). Ecology and climate: research strategies and implications. Science, 269, 334-341.

Seibert, P. (1996). Farbatlas Südamerika - Landschaften und Vegetation. Stuttgart. (Ulmer).

Soil Conservation Service (1972). National Engineering Handbook, Hydrology Section 4, Chapters 4-10. United States Department of Agriculture. Washington D.C., USA.

SRH (1992). Plano estadual dos recursos hídricos. Governo do Estado do Ceará, Sectretaria dos Recusrsos Hídricos. Fortaleza.

Stecher, K.-H. (1998). Wenn Geld nicht immer gilt. Werteparallelität und bäuerliche Domestizierung von Geld im Nordosten Brasiliens. (Studien zur monetären Ökonomie Band 21). Marburg. (Metropolis Vlg.).

SUDENE (1968). Mapa hidrogeológico do Nordeste, Folha N° 9 (Jaguaribe-NE), Recife.

SUDENE (1996). Agredados Econômicos Regionais - Produto Interno Formação de Capital Consumo do Governo - Nordeste do Brasil 1965-95. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) / Diretoria de Planejamento e Orçamento (DPO), Recife.

SUDENE (1998). Programa Federal de Combate aos Efeitos da Seca. Manual das Comissões Municipais. Informações Básicas. Recife.

SUDENE (1999). Seca: Ações Emergencias - Ações Estruturais. Recife. URL: http://www.sudene.gov.br/seca/index.html.

Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J. (1991). Land Evaluation. Part II: Methods in Land Evaluation. General Administration for Development Cooperation, Brüssel, Belgien.

Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J. und Beernaert, F. (1993). Land Evaluation. Part III: Crop requirements. General Administration for Development Cooperation, Brüssel, Belgien.

Tavares, R. (1995). Land a. democracy: Reconsidering the agrarian Question. Nacla. Report on the Americas: New York 6.) pp.23-30.

USDA (1990). EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator. 1. Model Documentation. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 1768. Washington D.C., USA.

USDA (ed.) 1972. SCS National Engineering Handbook Section 4: Hydrology. USDA. Washington. Reprinted March 1985.

van Dieren, W. (Hrsg.) (1995). Taking Nature into Account: A Report to the Club of Rome. New York. (Springer).

Veloso, F. (1998). Planejamento regional e transformação de agricultura tradicional – Lições da experiência no estado do Piauí. Tese de Doutorado. São Paulo.

Walker, B. und Steffen, W.L. 1999. The nature of global change In: Walker, B. Steffen, W.L., Canadell, J. and Ingram, J. (Eds.). The Terrestrial Biosphere and Global Change - Implications for natural and managed ecosystems. Cambridge. (University Press). S. 1-19.

WBGU (1993). Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. Jahresgutachten. Bonn. (Economica Verlag).

WBGU (1997). Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser. WBGU Jahresgutachten. Berlin (Springer-Verlag).

Wessmann, C.A. (1992). Spatial scales and global change: bridging the gap from plots to GCM grid cells. Ann. Rev. Ecol. Syst., 23, pp. 175-200.